

Тема 3. ДИНАМИКА  
МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ.

# Уравнения Ньютона-Эйнштейна для системы МТ

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d r_i^{\boxtimes}}{d t} = v_i^{\boxtimes} \\ \frac{d p_i^{\boxtimes}}{d t} = \sum F_{ij}^{\boxtimes} \end{array} \right.$$

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

импульс МТ

- Система уравнений позволяет определить  $\{r_i^{\boxtimes}(t); v_i^{\boxtimes}(t); p_i^{\boxtimes}(t); E_i(t)\}$
- Все другие физические величины выражаются через совокупность  $\{r_i^{\boxtimes}(t); v_i^{\boxtimes}(t); p_i^{\boxtimes}(t); E_i(t)\}$

Совокупность величин  $\{\overset{\boxtimes}{r}_i(t); \overset{\boxtimes}{p}_i(t)\}$   
для данной системы МТ в любой  
момент времени описывает состояние  
системы, а система уравнений  
Ньютона-Эйнштейна определяет  
динамику этого состояния

# Условие применимости классической нерелятивистской динамики

$$v \ll c, \quad m \approx m_0, \quad \frac{dp}{dt} = F, \quad \Rightarrow \quad ma = F$$

Кинетическая энергия

$$T = \frac{mv^2}{2}, \quad T = \frac{p^2}{2m}$$

2-й закон Ньютона

$$m\ddot{x} = \sum_{i=1}^N F_i$$

# Свойства импульса:

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

$$\vec{p} = \sum_i \vec{p}_i$$
$$\sum_i \vec{p}_i = \text{const}$$
$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$$

$$d\vec{p} = \vec{F} dt$$

# Сохранение импульса замкнутой системы

$$\sum_{i=1}^N \vec{p}_i = \sum_i m_i \vec{v}_i = \text{const}$$

Для двух частиц:  $\frac{d}{dt}(\vec{p}_1 + \vec{p}_2) = 0, \quad \frac{d\vec{p}_1}{dt} = -\frac{d\vec{p}_2}{dt}$



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

- 3-й закон Ньютона

# Кинетическая энергия

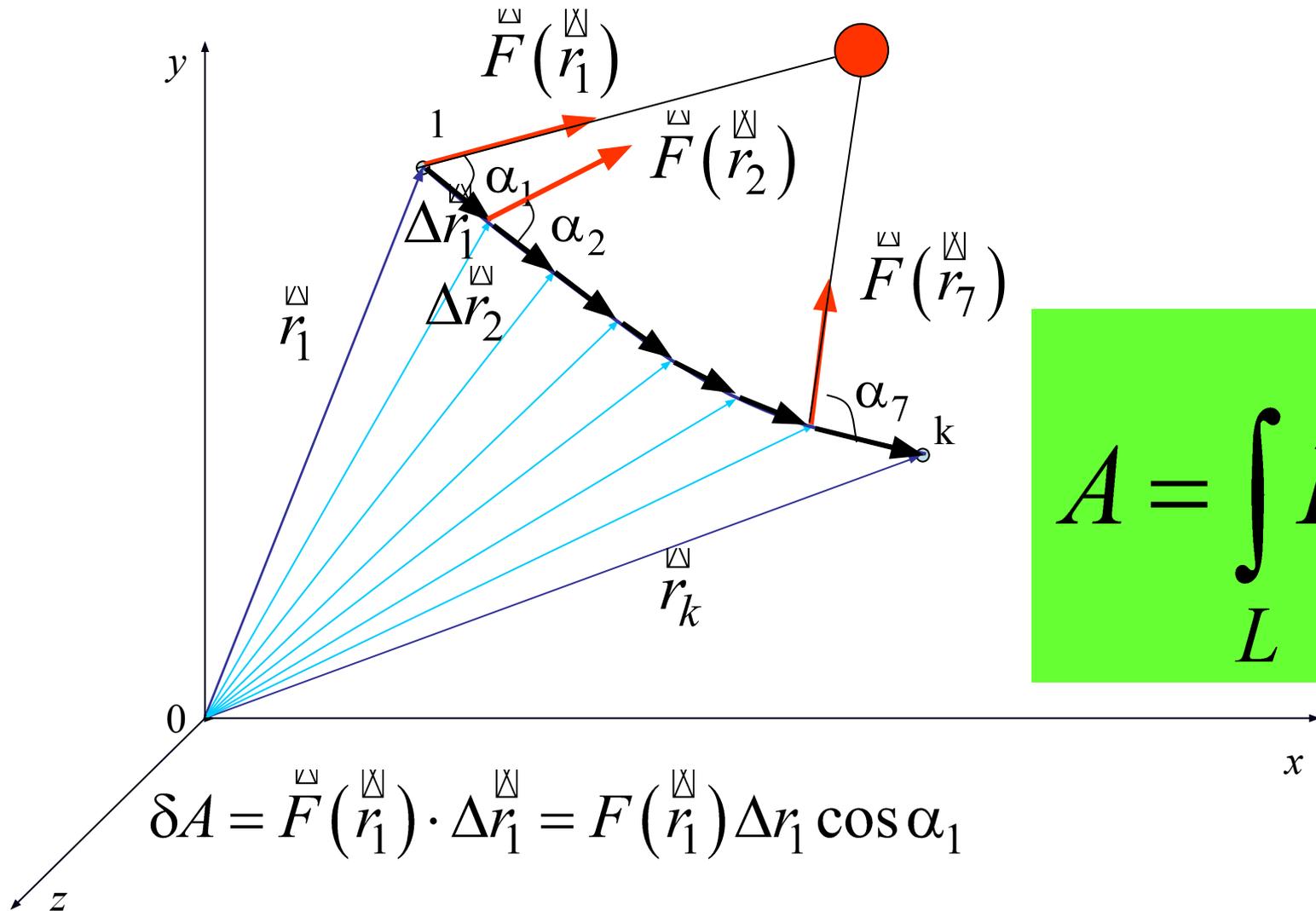
$$T = \frac{mv^2}{2} \quad \text{энергия движения}$$

$$dT = mvdv = \left( m \frac{dv}{dt} \right) \cdot (v dt) = \vec{F} dr$$

$$T_2 - T_1 = \int_1^2 \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}$$

$$\frac{dT}{dt} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{v} = N$$

# Работа силы



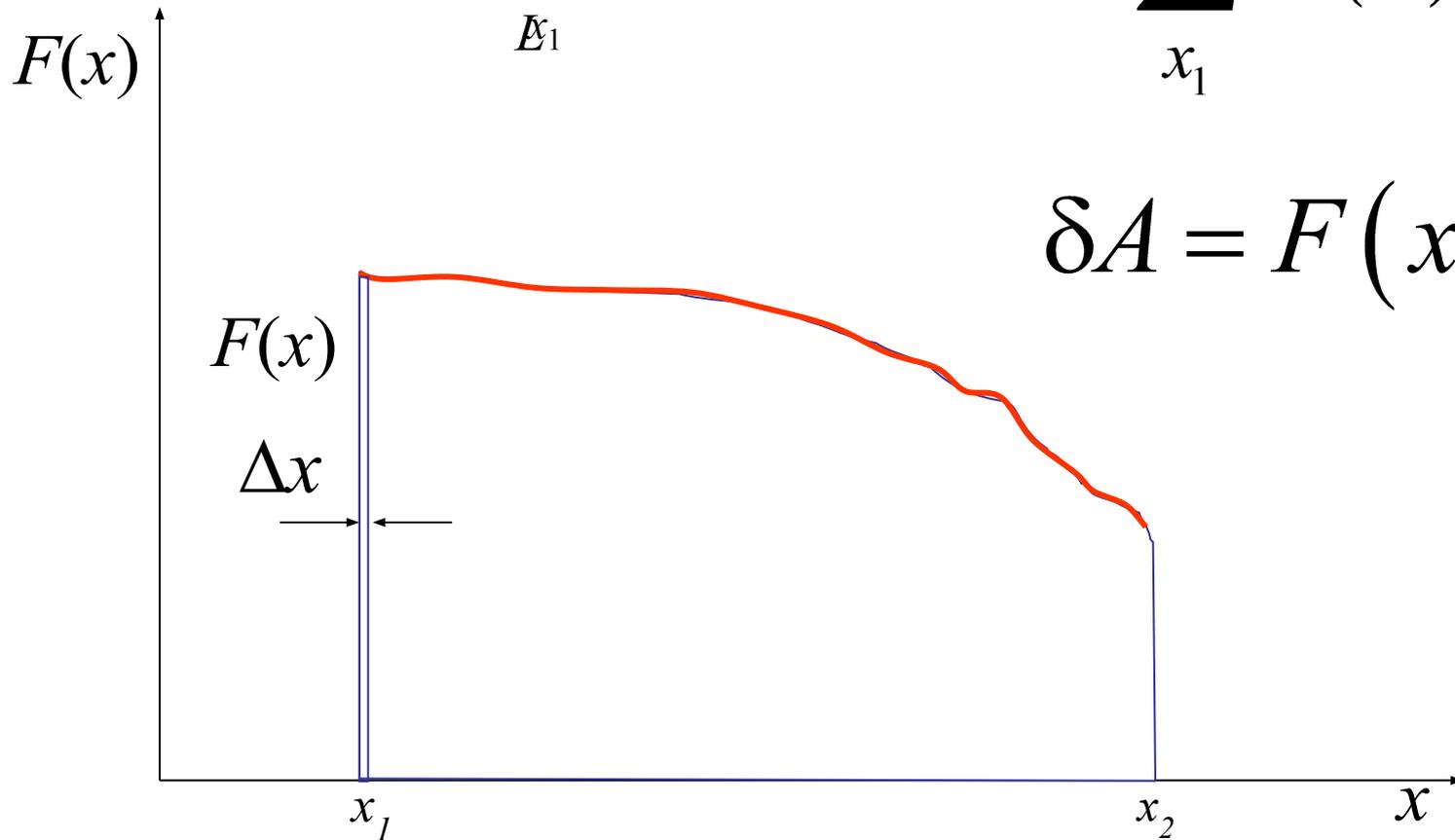
$$A = \int_L \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

$$\delta A = \vec{F}(\vec{r}_1) \cdot \Delta \vec{r}_1 = F(\vec{r}_1) \Delta r_1 \cos \alpha_1$$

# Графическое определение работы

$$A = \int_{x_1}^{x_2} F dx$$

$$A = \sum_{x_1}^{x_2} F(x) \Delta x$$

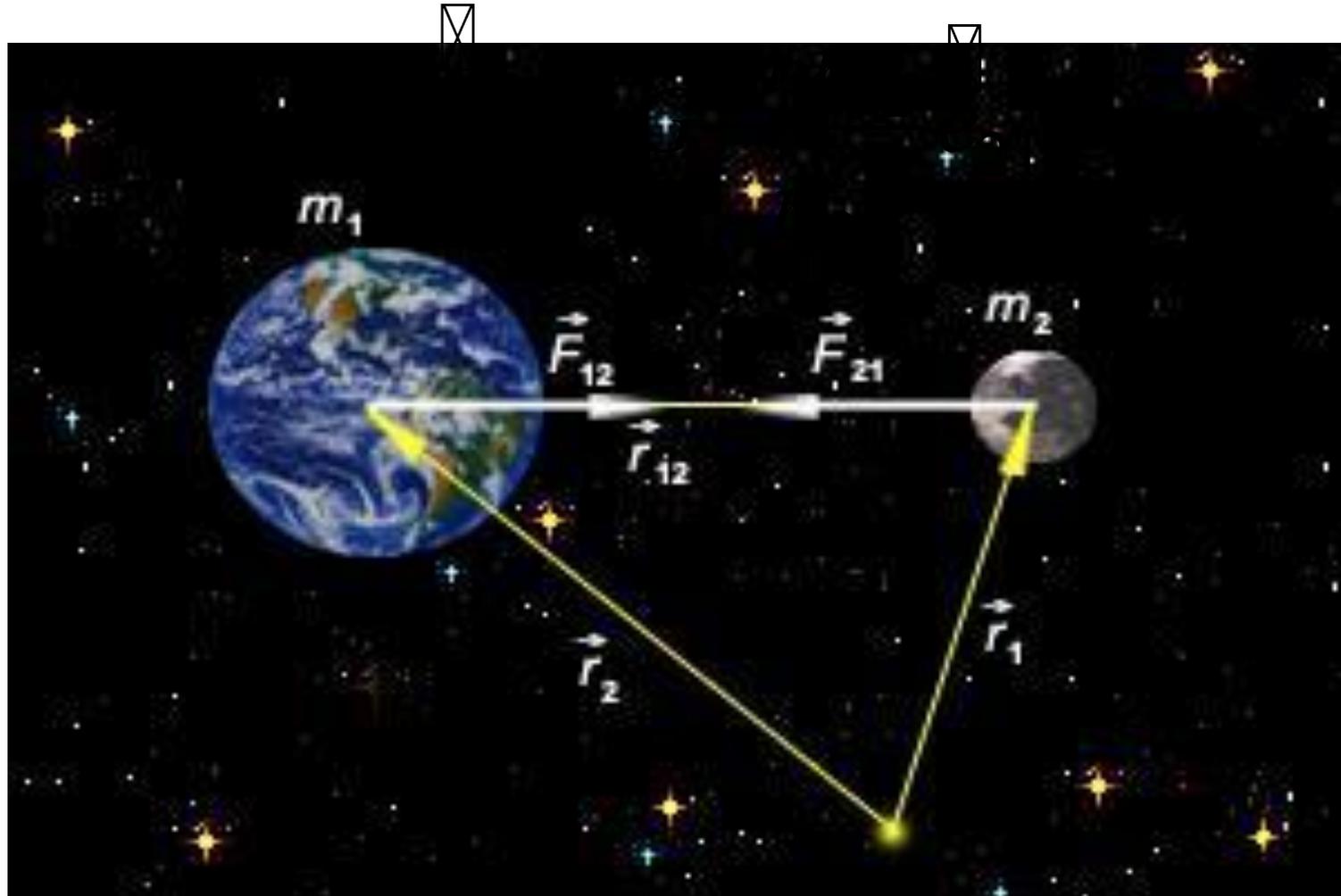


$$\delta A = F(x) \Delta x$$

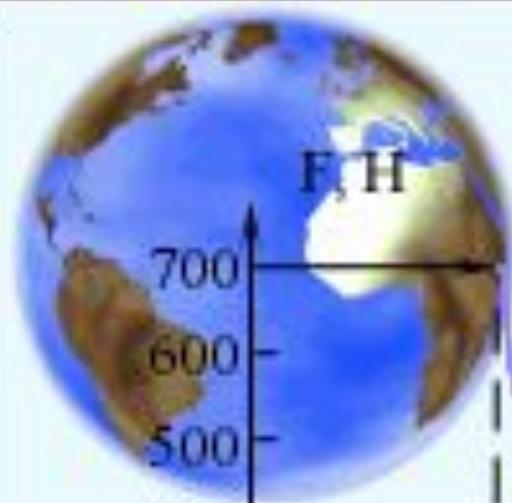
# Фундаментальные взаимодействия:

Взаимодействие	Границы, м	Относительная величина взаимодействия $p - p$ внутри ядер
Сильное ядерное	Менее $10^{-15}$	1
Электростатическое	От 0 до бесконечности	$10^{-2}$
Слабое ядерное	Менее $10^{-15}$	$10^{-13}$
Гравитационное	От 0 до бесконечности	$10^{-38}$

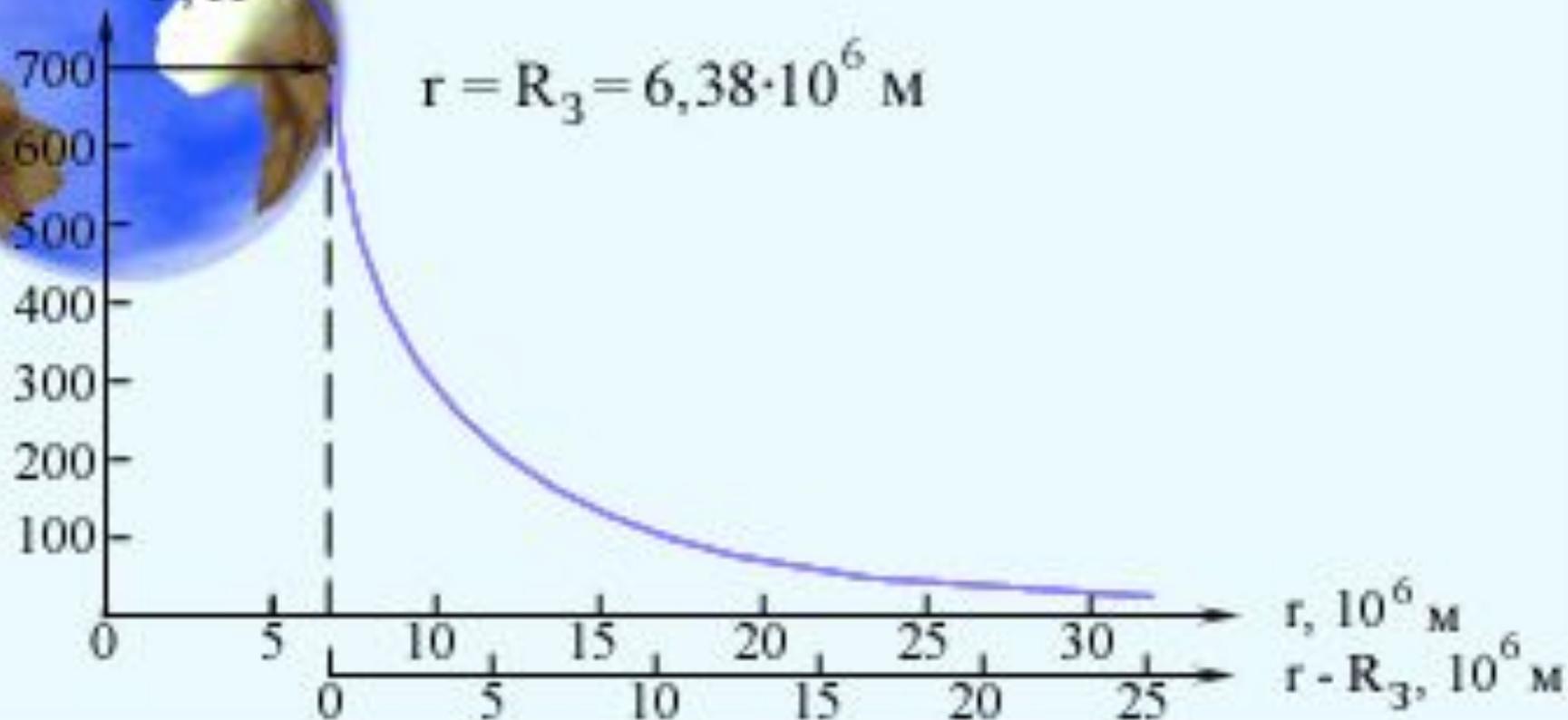
# Закон всемирного тяготения



# Изменение силы тяготения при удалении от Земли



$$r = R_3 = 6,38 \cdot 10^6 \text{ м}$$



# Сила тяготения вблизи поверхности Земли

$$F = G \cdot \frac{mM_3}{r^2} = mg$$

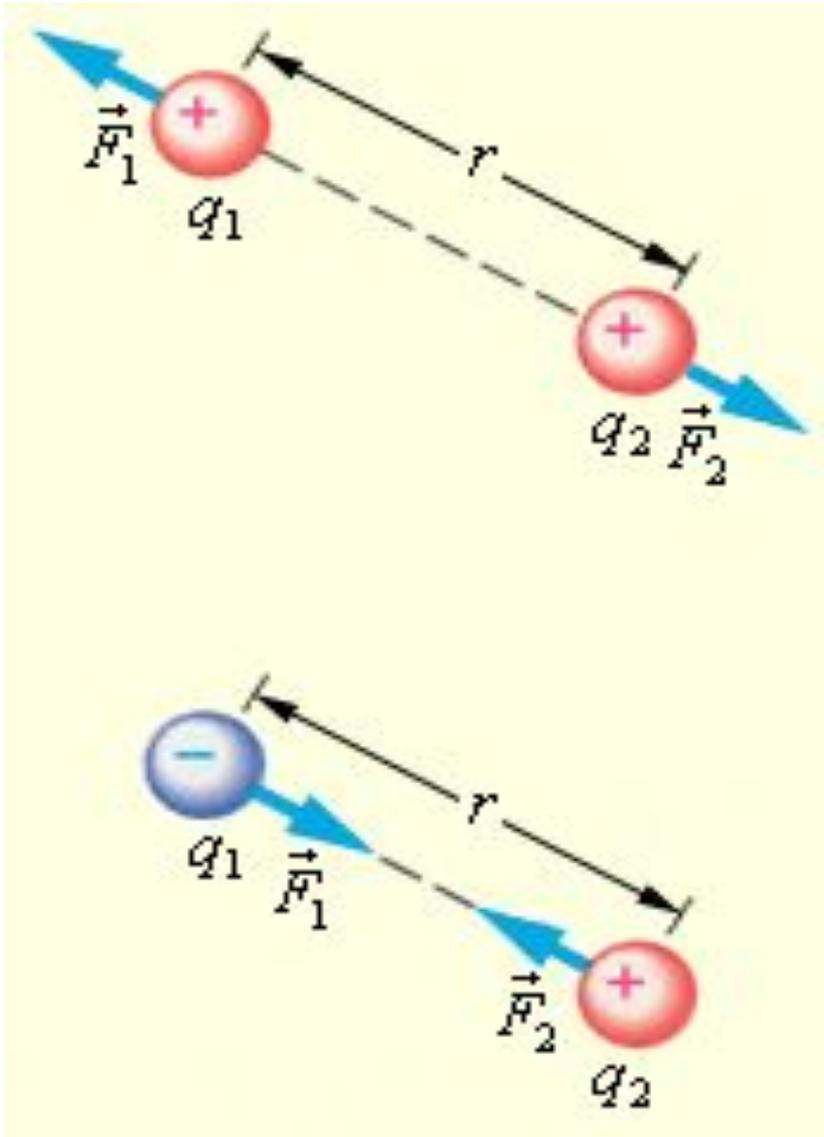
$$r = R_3$$

$$g_0 = G \cdot \frac{M_3}{R_3^2}$$

$$r = R_3 + h$$

$$g = G \cdot \frac{M_3}{(R_3 + h)^2} = g_0 \cdot \frac{R_3^2}{(R_3 + h)^2}$$

# Взаимодействие одноименных и разноименных зарядов

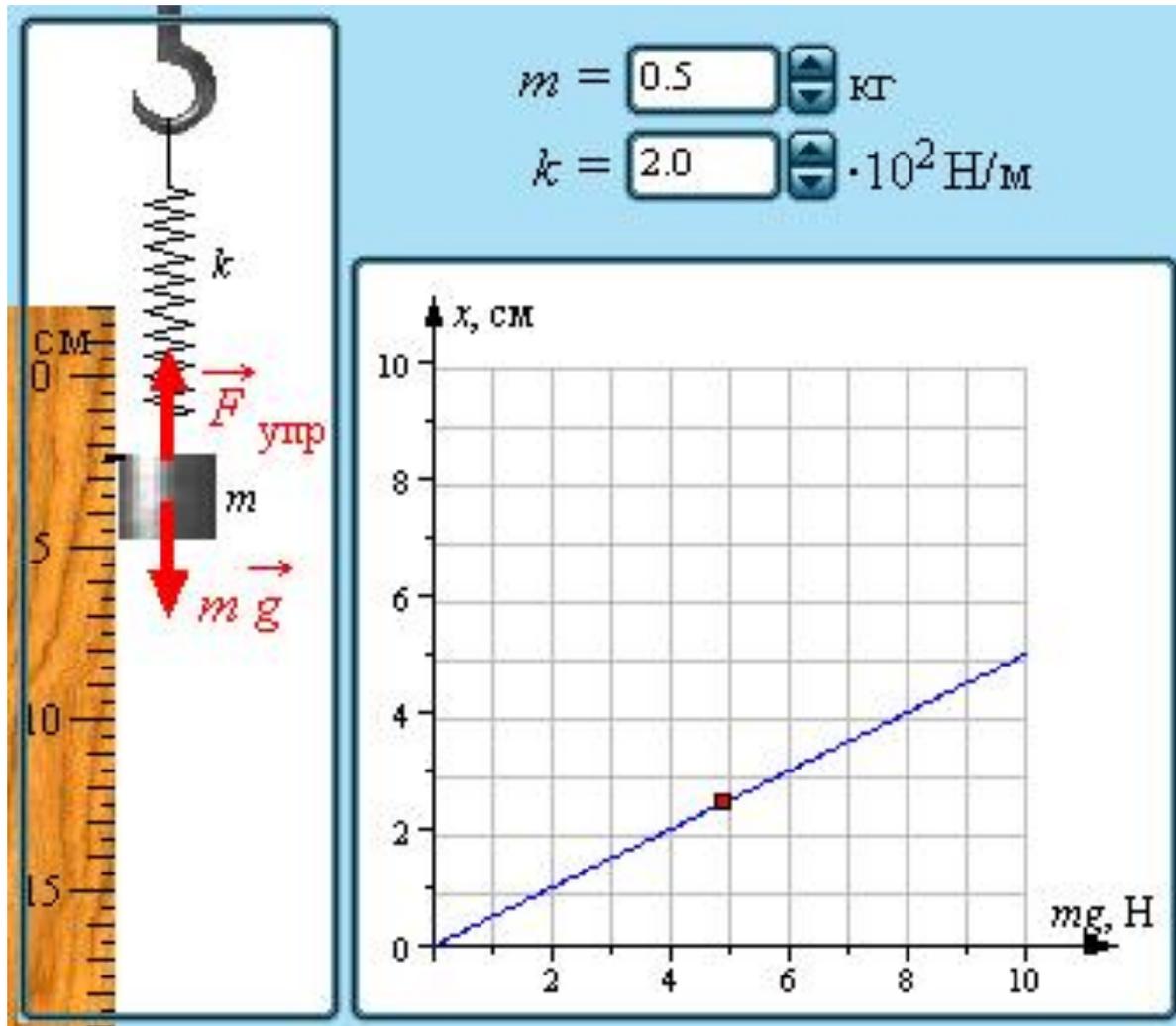


$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Нефундаментальные

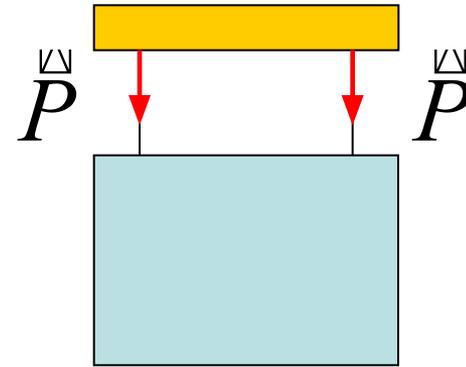
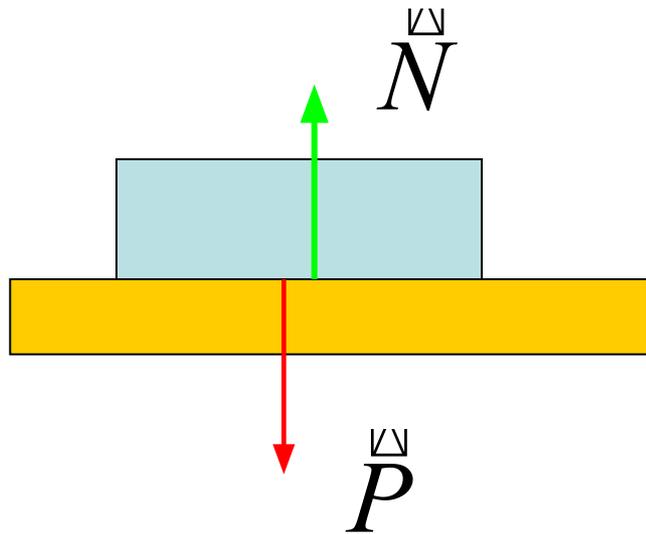
СИЛЫ

# Закон Гука



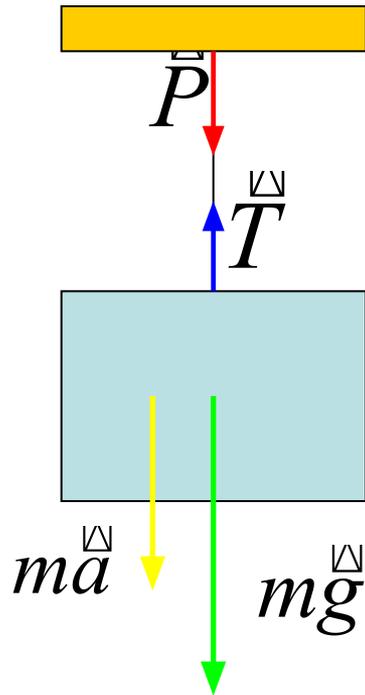
$$F = -k\Delta l$$

# Вес тела и сила реакции опоры



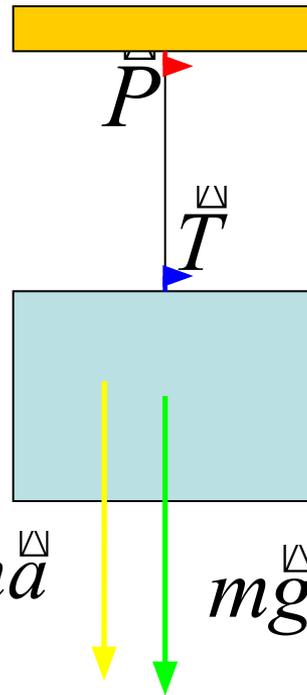
Вес тела – сила, с которой оно действует на опору или на подвес.

При движении с ускорением вес отличается от силы тяжести.



$$ma = mg - T$$

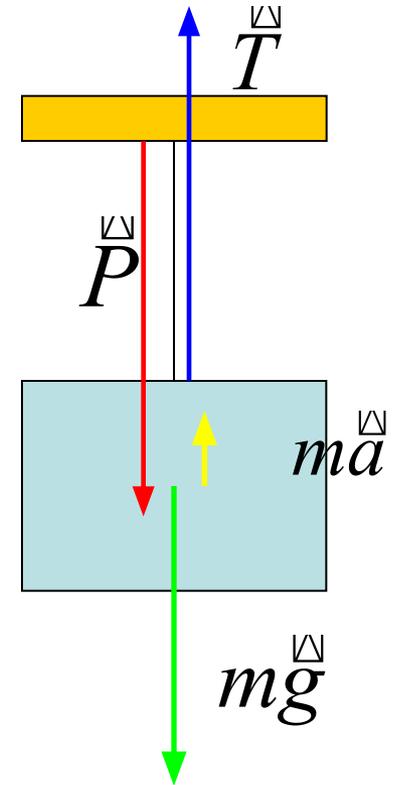
$$P < mg$$



$$ma = T + mg, \quad P = T$$

$$\vec{a} = \vec{g}$$

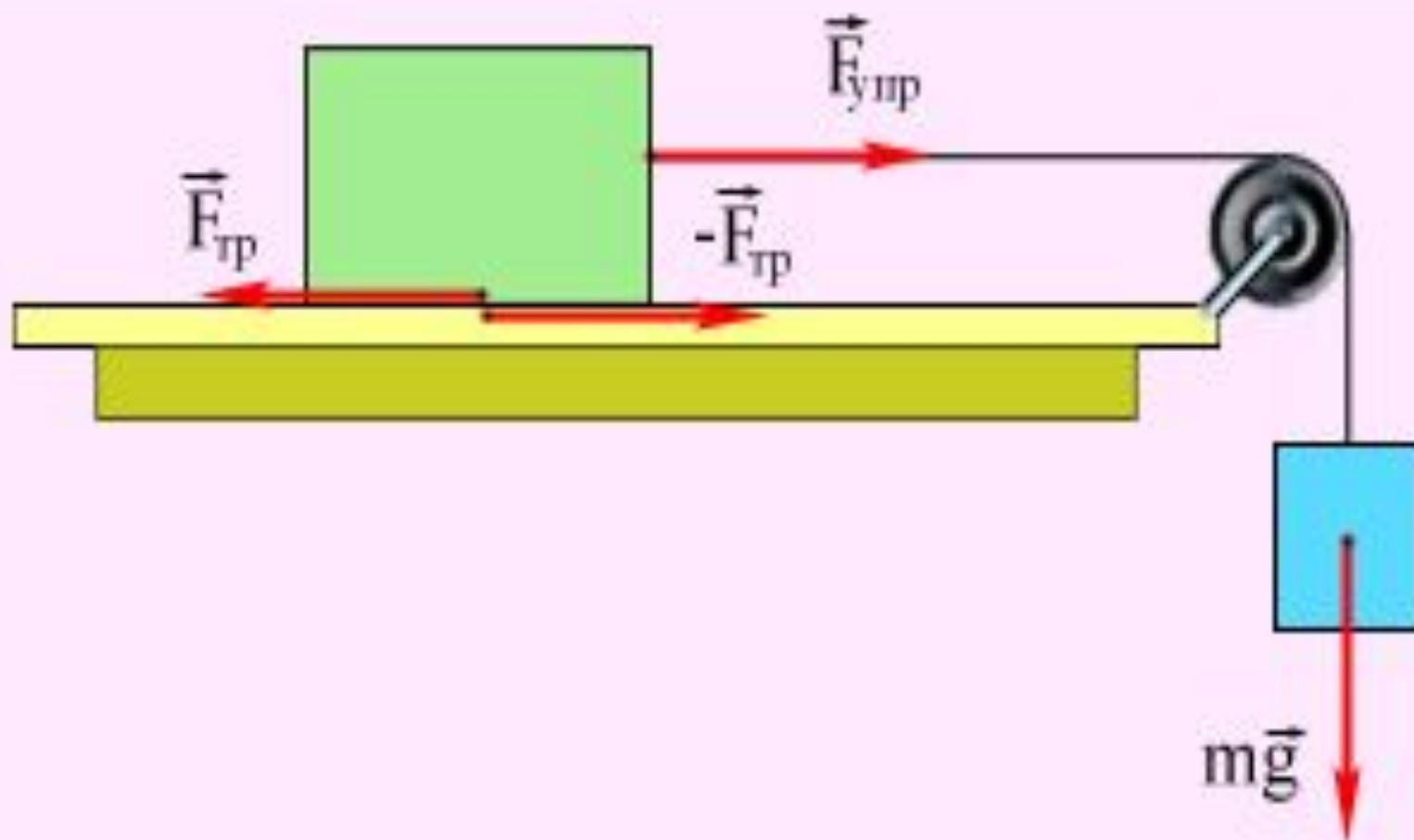
$$T = P = 0$$

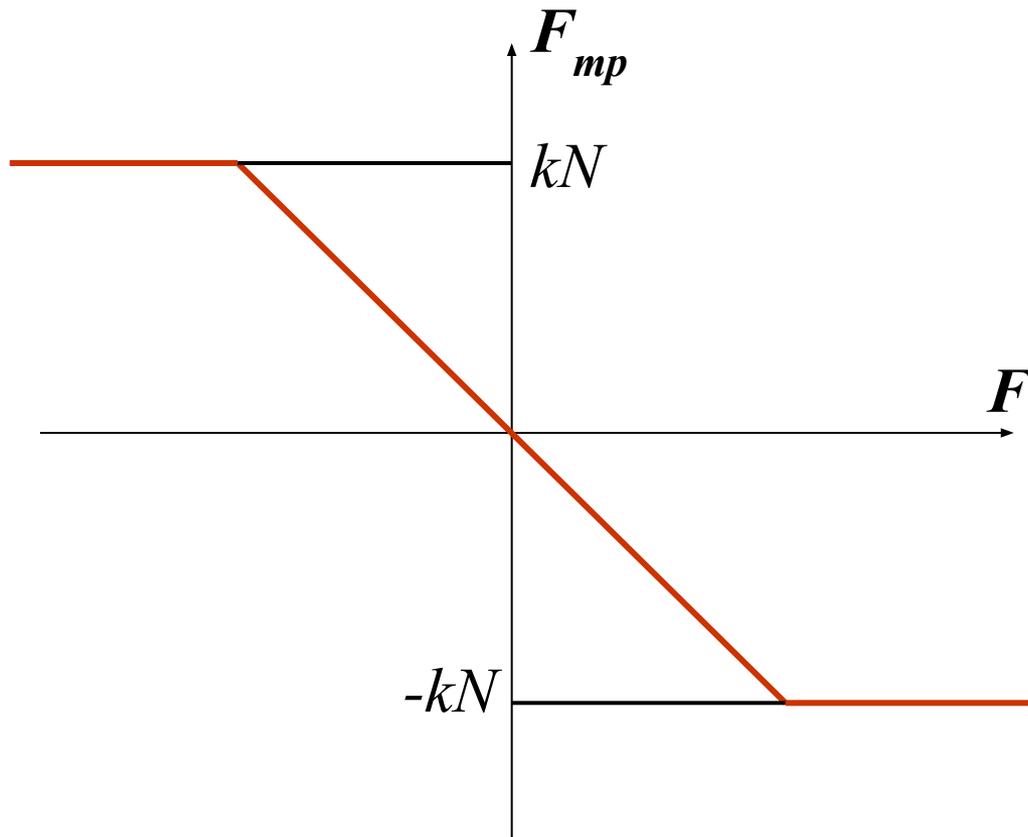
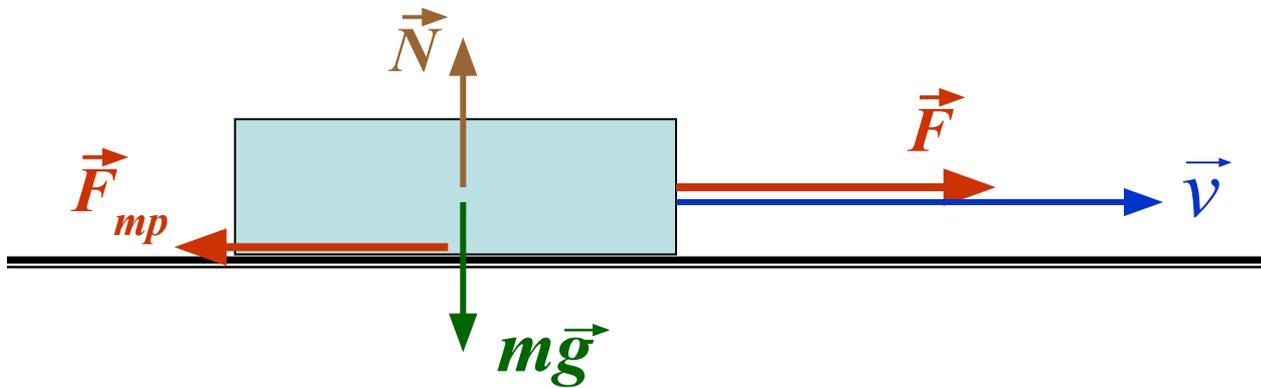


$$ma = T - mg$$

$$P > mg$$

# Сила трения



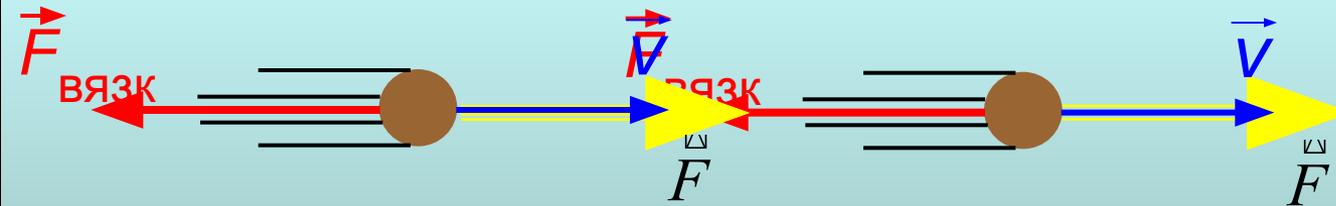


Сила трения  
скольжения

$$F_{mp} = kN$$

$k$  – коэффициент  
трения

# Сила вязкого трения



$$\vec{F}_{\text{вязк}} = -\alpha \vec{v}; \quad (\text{в воздухе} - \text{для } v < 50 \text{ м/с})$$

$$\text{Для } v > 50 \text{ м/с: } F = \beta v^2; \quad N = vF = \beta v^3 (!!!)$$

Тема 4.  
РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ДИНАМИКА  
МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Импульс тела:

$$\vec{p} = m\vec{v} = \frac{m_0\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

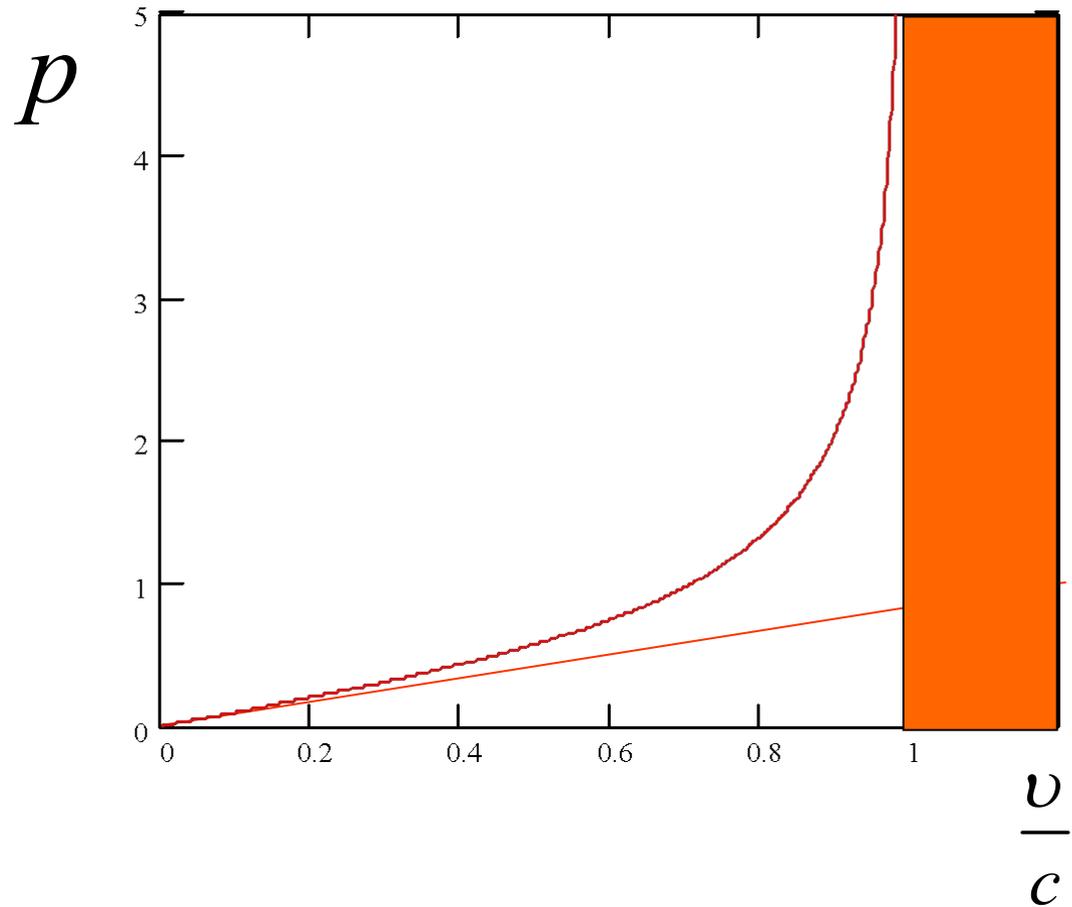
Фундаментальный закон природы - Закон сохранения импульса:

$$\sum_i \vec{p}_i = \sum_i m_i \vec{v}_i = \text{const}$$

или

$$\sum_i \frac{m_{0i} v_i}{\sqrt{1 - \frac{v_i^2}{c^2}}} = \text{const}$$

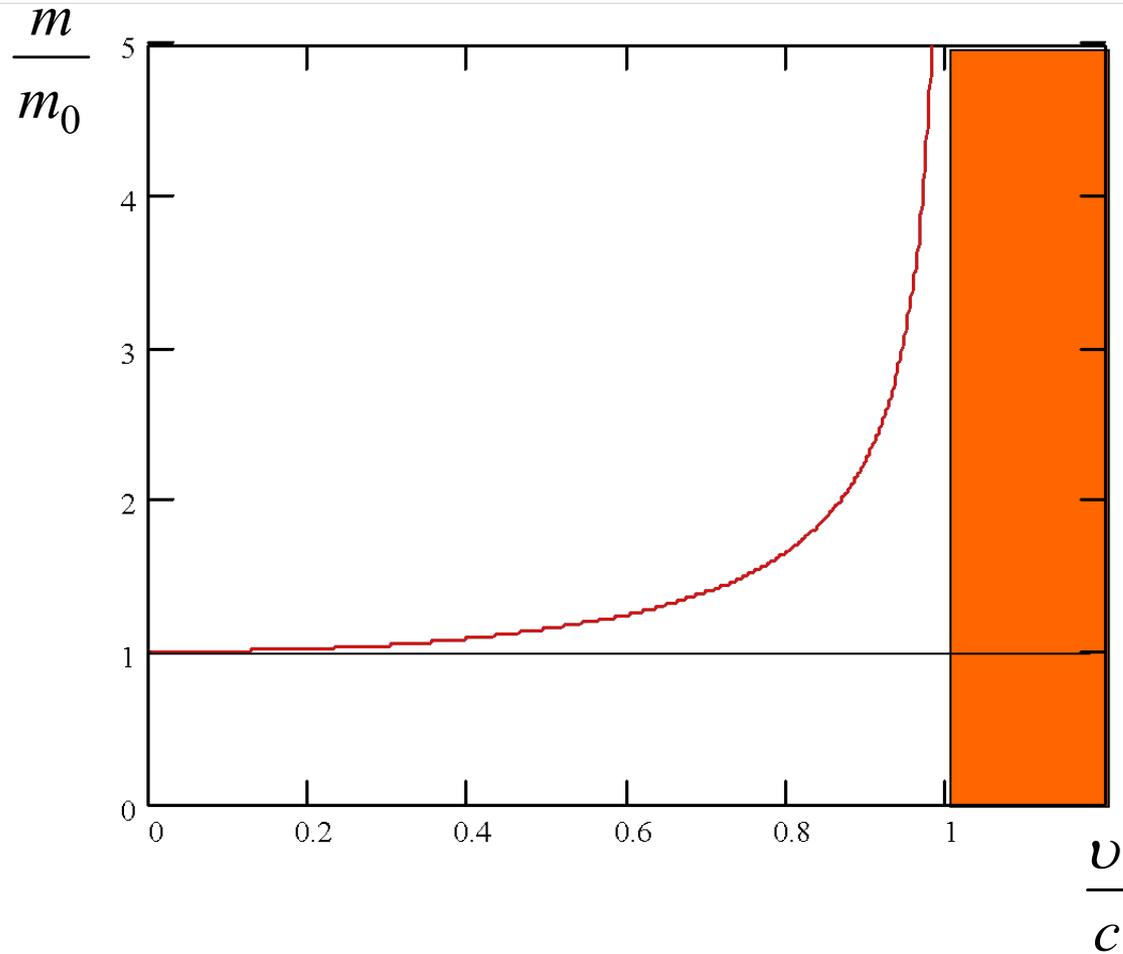
# Зависимость импульса от скорости



$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

~~$p = m_0 v$~~

# Зависимость массы от скорости



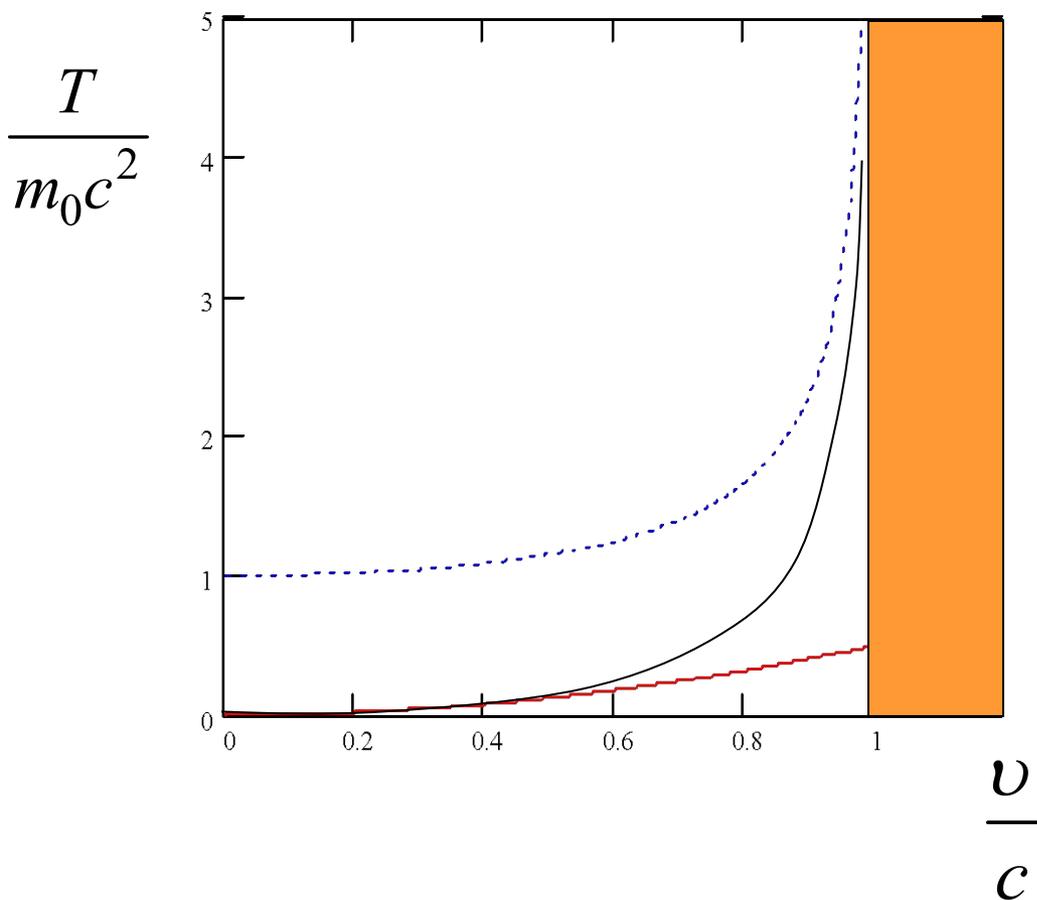
$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$dT = d \left( \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} + \text{const} \right)$$

При  $v = 0$ ;  $T = 0$

$$T = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 c^2$$

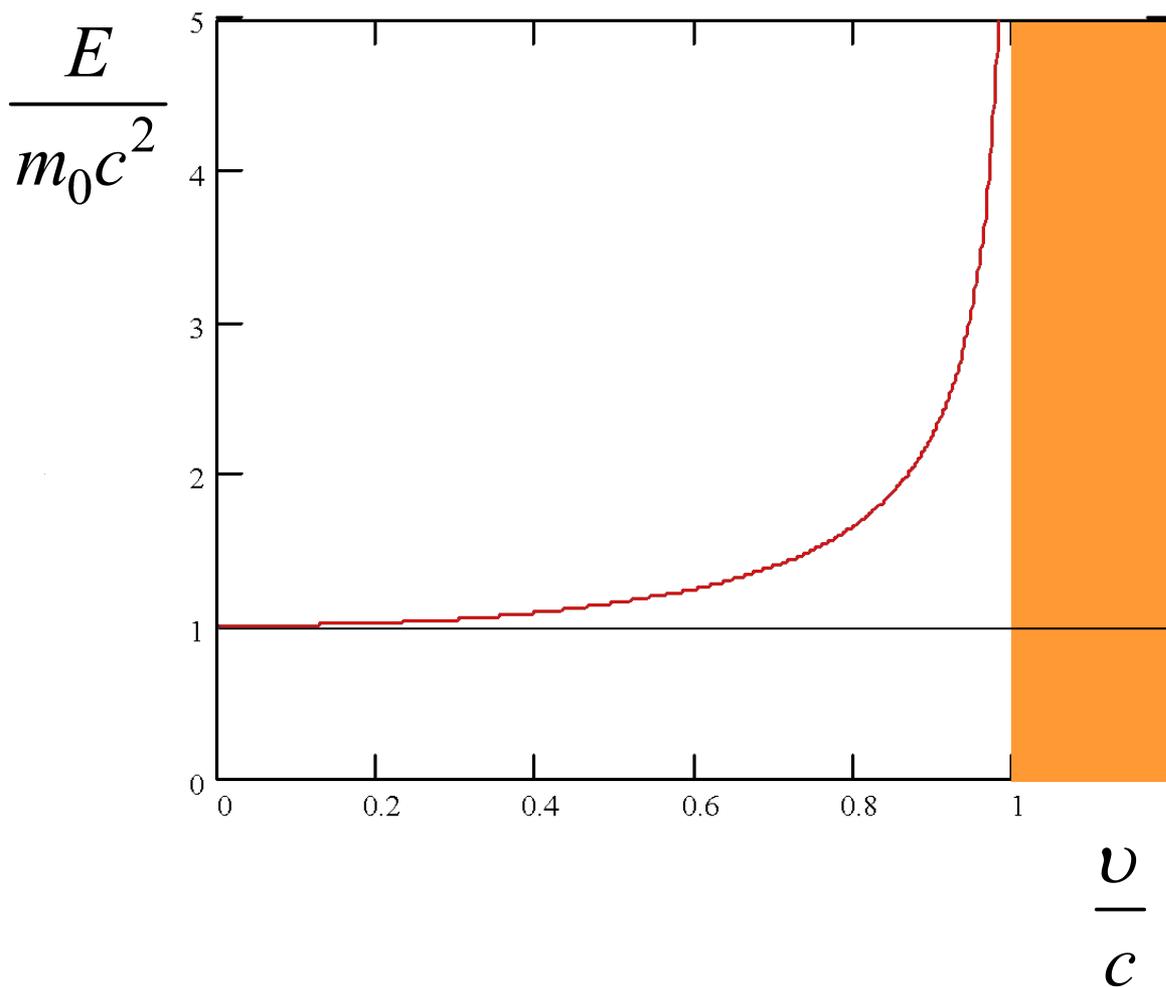
Зависимость кинетической энергии от скорости для релятивистской (а) и классической (б) частиц. При  $u \ll c$  оба закона совпадают



$$T = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 c^2$$

~~$$T = \frac{mv^2}{2}$$~~

# Зависимость энергии от скорости



$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$E = m_0 c^2 + T$$

