

# Лекция № 7

## Элементы специальной теории относительности (СТО)

### Литература

А.А. Детлаф, Б.М. Яворский 7.1–7.7;

Н.П.Калашников, Н.М.Кожевников,  
Интернет-тестирование базовых  
знаний – 1 ДЕ, задания 6.

# ОСНОВЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

- Преобразования Галилея.
- Постулаты С Т О.
- Преобразования Лоренца,  
следствия из преобразова-  
ний Лоренца.
- Релятивистская динамика.
- Связь массы и энергии.

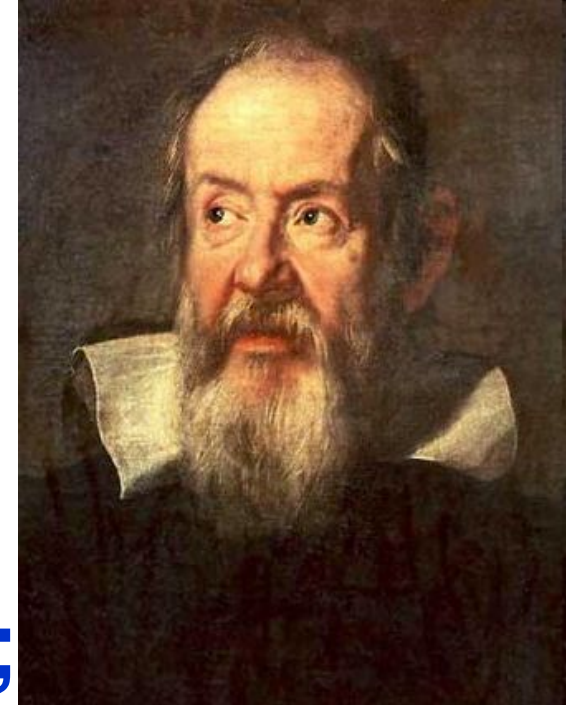
# Галилео - Галилей (1564 – 1642)

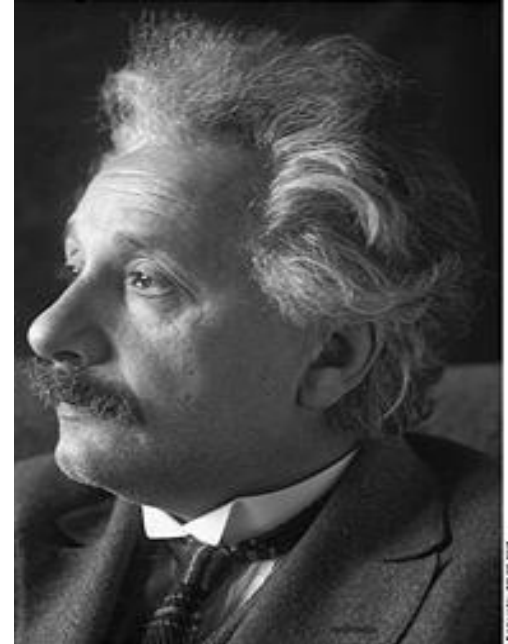
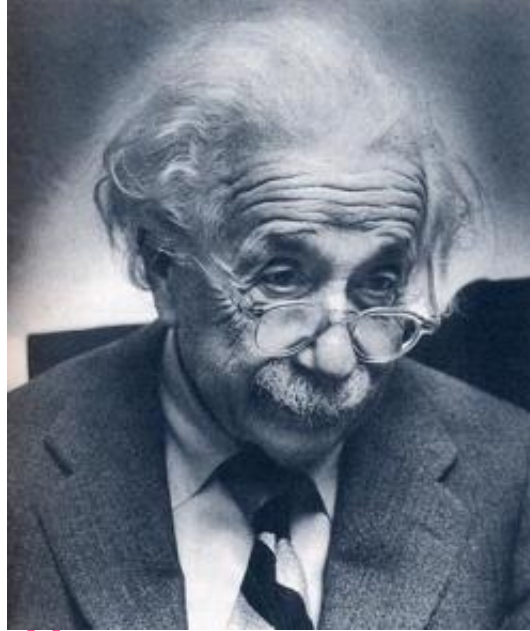
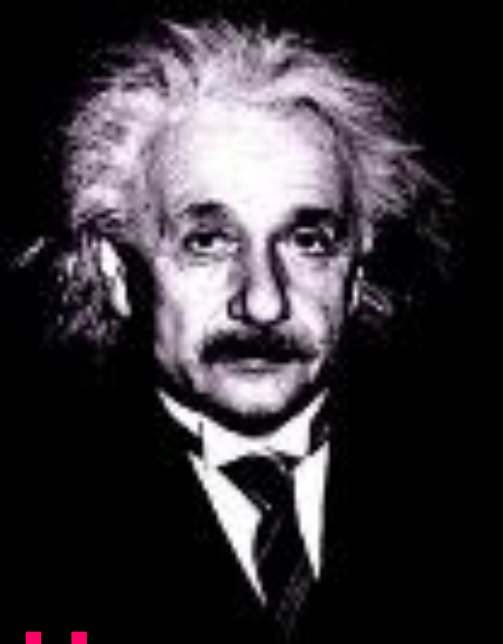
- итальянский физик,  
механик, астроном.

Заложил основы механики:  
относительность движения;  
законы инерции и свободного падения;  
сложение движений.

Построил телескоп (х32), открыл горы  
на Луне, 4 спутника Юпитера, пятна на  
Солнце, фазы у Венеры.

«Узник инквизиции» до 1992г.





**Немецко-швейцарско-американский физик Альберт Эйнштейн**  
**Родился 14 марта 1879 года в Ульме (Германия) .**

**Умер 18 апреля 1955 года в Принстоне (Массачусетс, США) .**

**В 1905 г. создана специальная теория относительности - революция в физике.**

**В 1915 г. создана общая теория относительности:**

**тела изменяют геометрию пространства - времени, которая и определяет движение проходящих через него тел.**

# Постулаты СТО

1905г.

А.Эйнштейн

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{M}{c}$$

- В любых ИСО все физические явления при одних и тех же условиях протекают одинаково.
- Скорость света в вакууме одинакова во всех ИСО, не зависит от скорости движения источника и приемника света:



# Хенрик Антон Лоренц (1853 – 1928)

-физик – теоретик,  
нобелевская премия  
1902г. «За изучение  
влияния магнитного  
поля на излучение»

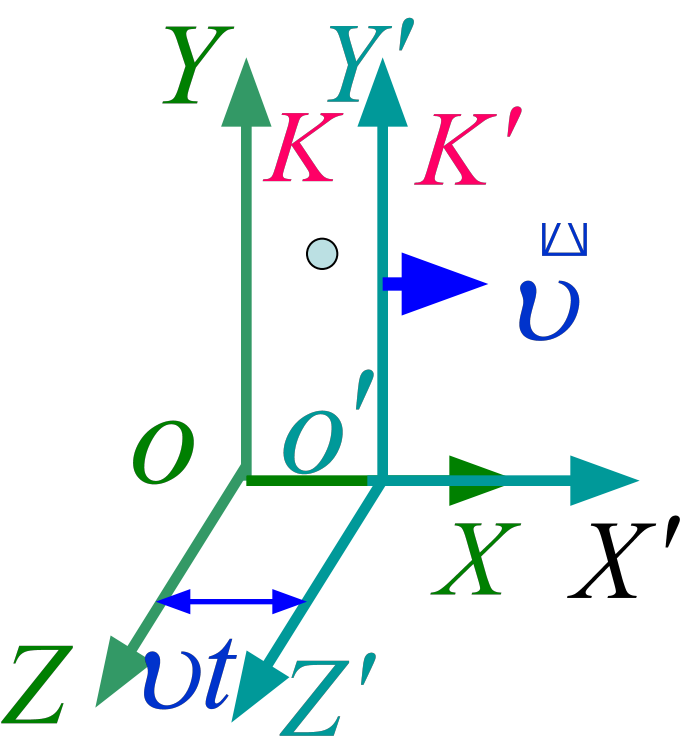
Формулы «преобразования  
Лоренца» (1904г.) включены в  
СТО.

# Преобразования Лоренца

$(v \sim c)$

$O, O'$  –  
при  $t=0$   
совпа-  
дали.

$K \rightarrow K'$



$$\left. \begin{aligned} x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \\ y' &= y, \\ z' &= z, \\ t' &= \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}} \end{aligned} \right\}$$

$$\beta = \frac{v}{c} \Rightarrow v = \beta \cdot c$$

**скорость, измеренная в долях скорости света.**



# Следствия из преобразований Лоренца

## 1. Одновременность событий

Если в ИСО в одной точке одновременно происходят два события, то в другой ИСО они будут одновременными и пространственно совпадающими .

$$x'_1 = x'_2, t'_1 = t'_2$$

Если события в системе  $K$   
пространственно разобщены ( $x_1 \neq x_2$ ),  
но одновременны, то в системе  $K'$   
эти события оказываются  
неодновременными :

$$x'_1 \neq x'_2, t'_1 \neq t'_2.$$

# Это следует из преобразований Лоренца для координат и времени:

$$x'_1 = \frac{x_1 - vt}{\sqrt{1 - \beta^2}}, x'_2 = \frac{x_2 - vt}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

$$t'_1 = \frac{t - vx_1 / c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}, t'_2 = \frac{t - vx_2 / c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

$(t'_2 - t'_1)$  – может иметь разные знаки  
(второе событие может  
предшествовать первому).

Но порядок следования причинно след-  
ственных событий во всех ИСО одинаков.

## 2. Длительность событий в разных ИСО

$$\tau = t_2 - t_1, \tau' = t'_2 - t'_1$$

- длительность события в  $K$  и  $K'$ .

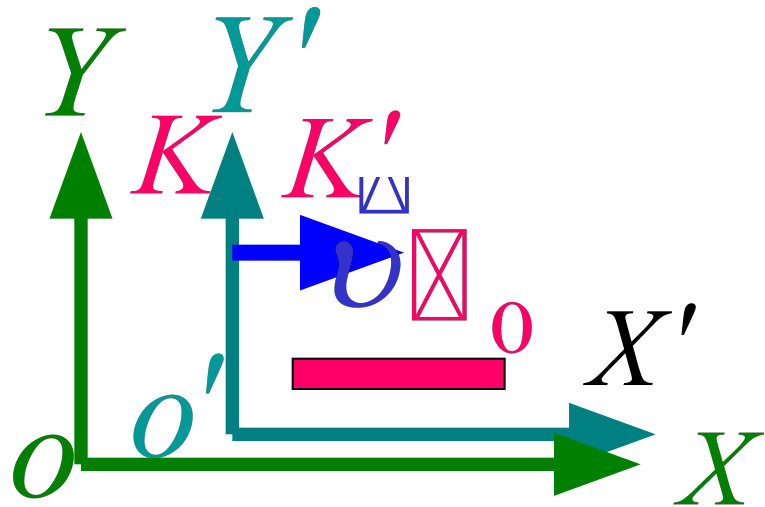
Время начала и конца события в системе  $K'$  :

$$t'_1 = \frac{t_1 - vx/c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad t'_2 = \frac{t_2 - vx/c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

$$\tau' = \frac{t_2 - t_1}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{\tau}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

**часы, движущиеся относительно ИСО, идут медленнее покоящихся часов, (“парадокс близнецов”).**

### 3. Длина тел в разных ИСО



$$l_0 = x'_2 - x'_1$$

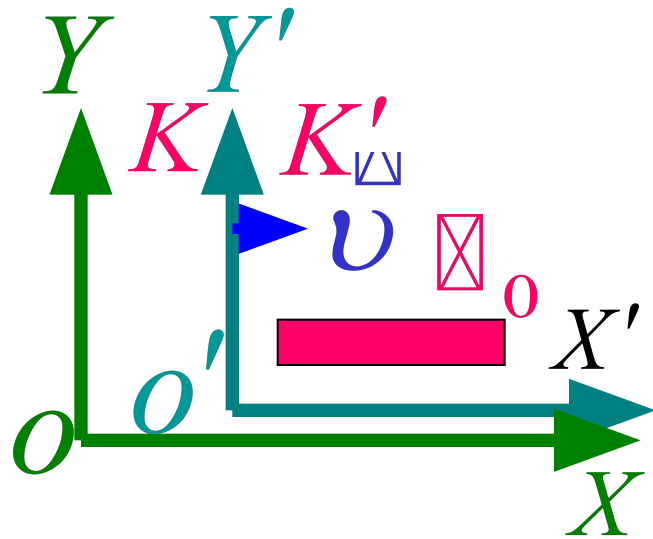
длина стержня,  
покоящегося в  $K$ ,

$l = x_2(t) - x_1(t)$  - длина стержня в  $K'$ .

где  $x_1(t)$  и  $x_2(t)$

- координаты концов стержня в  
системе  $K$ :

$$x_1(t) = \frac{x'_1 + vt}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$



$$x_2(t) = \frac{x'_2 + vt}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

$$x = (x'_2 - x'_1)\sqrt{1 - \beta^2} = x_0\sqrt{1 - \beta^2}$$

- лоренцево сокращение  
**продольных** размеров тел.

# Релятивистская динамика

1. При  $v \sim c$  масса  $m$  частицы зависит от ее скорости:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

где  $m_0$  - масса частицы в той ИСО, относительно которой частица покоится.



## 2. Импульс релятивистской частицы:

$$p = \gamma m v = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

зависит от скорости нелинейно.

### 3. Уравнение релятивистской динамики:

$$\vec{F} = \frac{d}{dt} \left( \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right) = \frac{d\vec{p}}{dt},$$

где  $\vec{p}$  - импульс релятивистской частицы.

## 4. Закон сохранения релятивистского импульса (следствие однородности пространства):

$$\sum_{i=1}^n \frac{m_i v_i}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \text{const}$$

- релятивистский импульс  
замкнутой системы не изменяется  
с течением времени.

# Взаимосвязь массы и энергии

## 1. Кинетическая энергия

$$dW_{\kappa} = \delta A = F dr = \frac{d}{dt} \left( \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right) v dt$$

$$dW_{\kappa} = d \left( \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right) = c^2 dm$$

- приращение кинетической энергии частицы пропорционально приращению ее массы.

$$\int_0^{W_K} dW_K = c^2 \int_{m_0}^m dm;$$

$$W_K = (m - m_0)c^2$$

$$W_K = mc^2 - m_0c^2$$

$$W_K = W - W_0$$

## 2. Полная энергия системы частиц

Изменение массы частицы сопровождается изменением ее полной

энергии:  $\Delta W = c^2 \Delta m$ .

Полная энергия системы равна произведению ее массы на квадрат скорости света в

вакууме:

$$W = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

Или 
$$W = m_0 c^2 + W_k,$$

где 
$$W_0 = m_0 c^2$$

- энергия покоящейся частицы.

**3. Закон сохранения энергии**  
(следствие однородности времени):

**полная релятивистская энергия замкнутой системы сохраняется .**