

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.

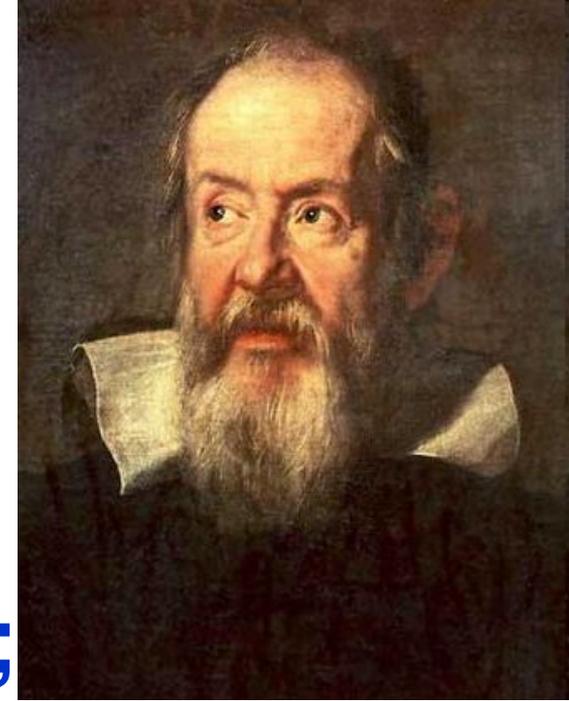
Галилео - Галилей (1564 – 1642)

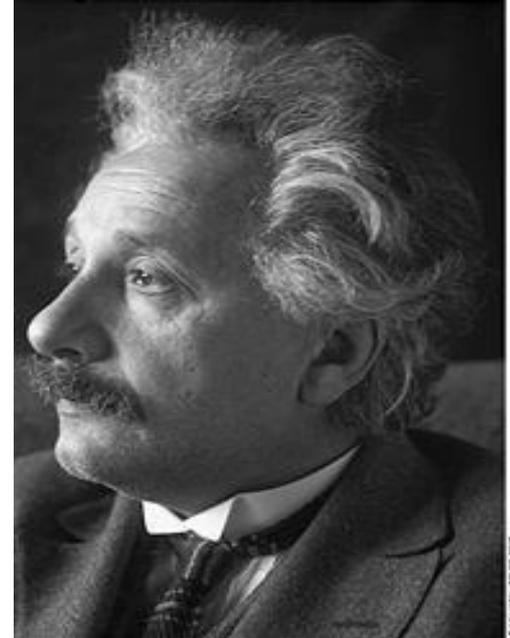
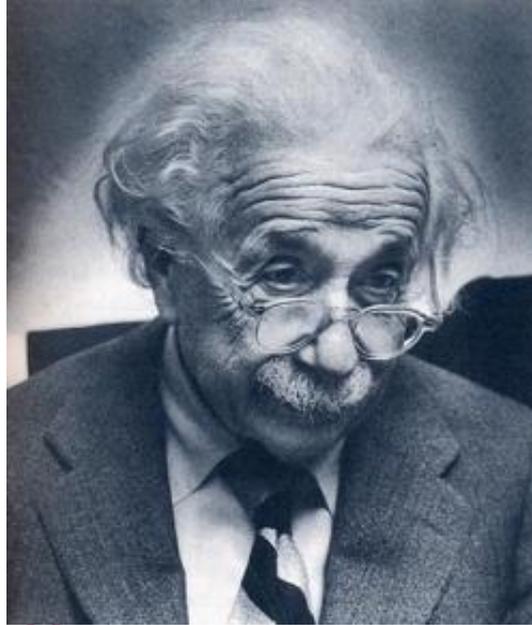
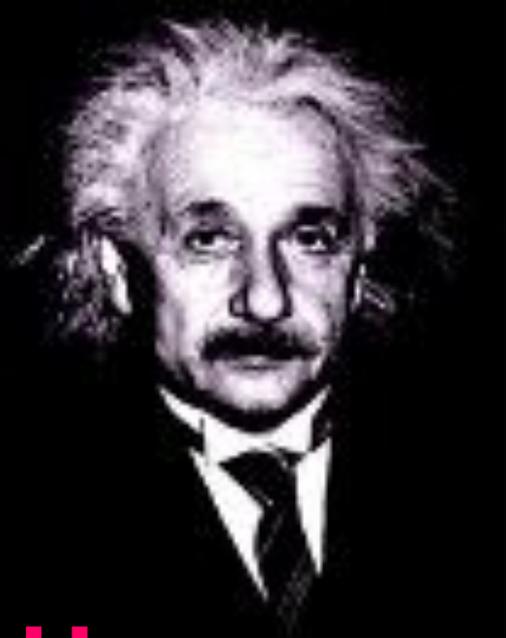
- итальянский физик,
механик, астроном.

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»

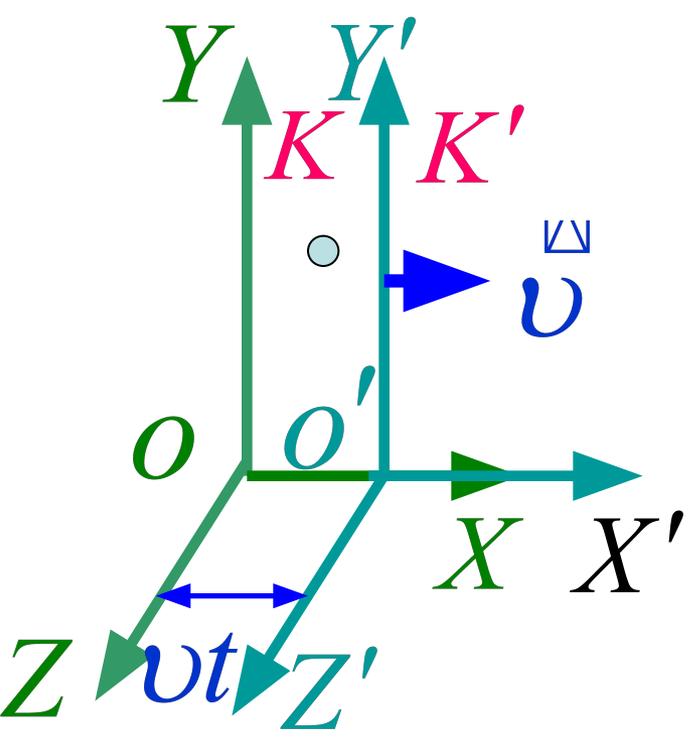
Формулы «преобразования
Лоренца» (1904г.) включены в
СТО.

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' .

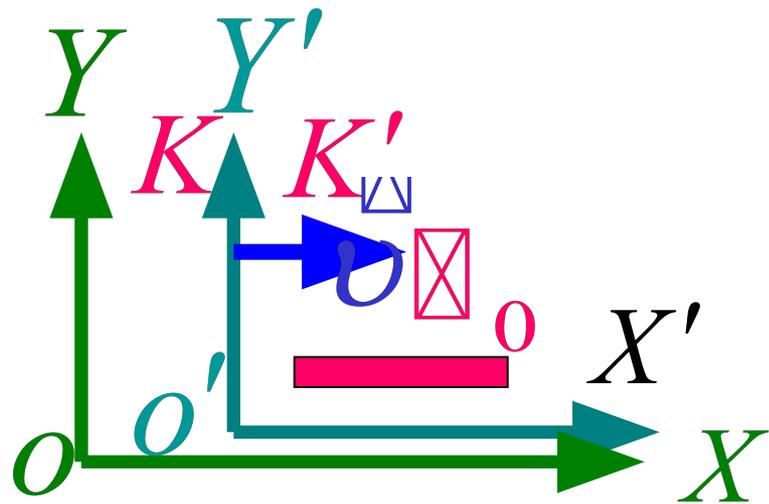
Время начала и конца события в системе K' :

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

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

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

3. Длина тел в разных ИСО



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

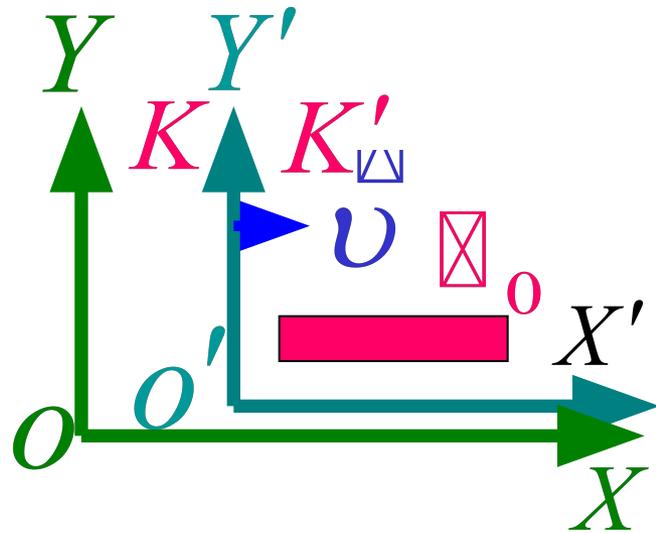
длина стержня,
покоящегося в K ,

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

где $x_1(t)$ и $x_2(t)$

- координаты концов стержня в
системе K :

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



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

$$l = (x'_2 - x'_1) \sqrt{1 - \beta^2} = l_0 \sqrt{1 - \beta^2}$$

- 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 .