



## Раздел 1: Механика

Тема1. Кинематика	2	2		
Тема2. ДПД	2	1		
Тема3. ДВД	3	2		
Тема4. Работа. Энергия		1	1	
Тема5. Элементы МСС		2	1	
Тема6. Релятивистская механика		1	1	

# Тема 6. Релятивистская механика

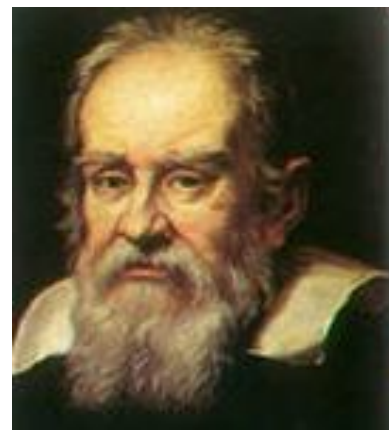


1. Принцип относительности Галилея.
2. Принцип относительности Эйнштейна и его следствия.
3. Преобразования Лоренца.
4. Релятивистские энергия и импульс.

## *Принцип относительности Галилея*



*Николай Орем (1330-1382)*

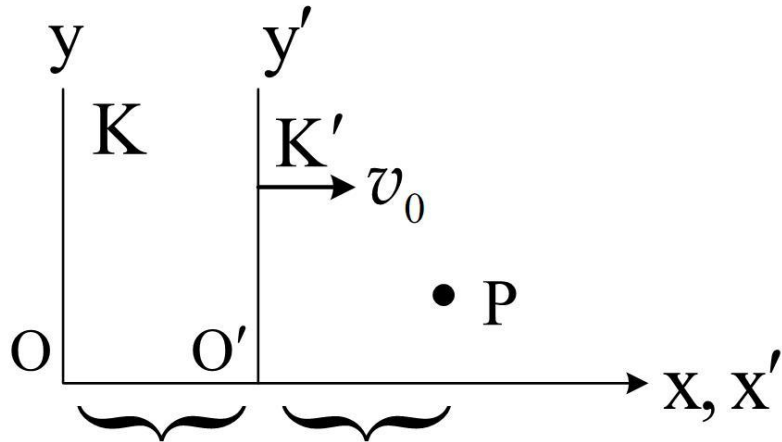


*Галилео Галилей (1564-1642)*

*Законы механики одинаковы во всех инерциальных системах отсчёта.*

*Математическая форма второго и третьего законов Ньютона не меняется при переходе от одной инерциальной системы отсчёта к другой*

# Преобразования Галилея



$$x = x' + v_0 t, \quad y = y', \quad z = z', \quad t = t'$$

(1)

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{v}_0$$

$$\vec{a} = \vec{a}'$$

(2)

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

*Никакими механическими опытами, проведенными внутри системы отсчета, невозможно определить движется ли данная система отсчета равномерно и прямолинейно или покоится.*

Вспомним, что **механическим движением** тела называют изменение его положения в пространстве относительно других тел с течением времени. Основная задача механики состоит в том, чтобы определить положение тела в любой момент времени.

Чтобы судить о том, движется данное тело или нет, надо сначала выбрать **тело отсчета**, а затем посмотреть, изменяется ли положение рассматриваемого тела относительно выбранного тела отсчета. При этом тело может двигаться относительно одного какого-либо тела отсчета и покоиться относительно другого тела отсчета.

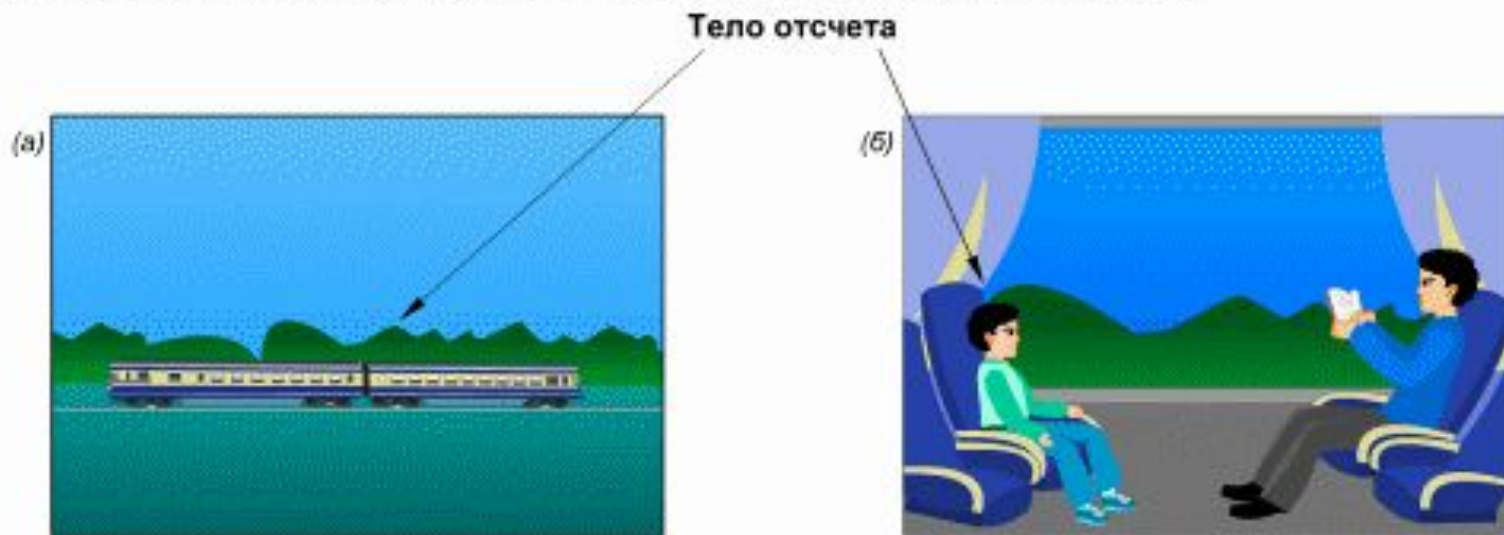
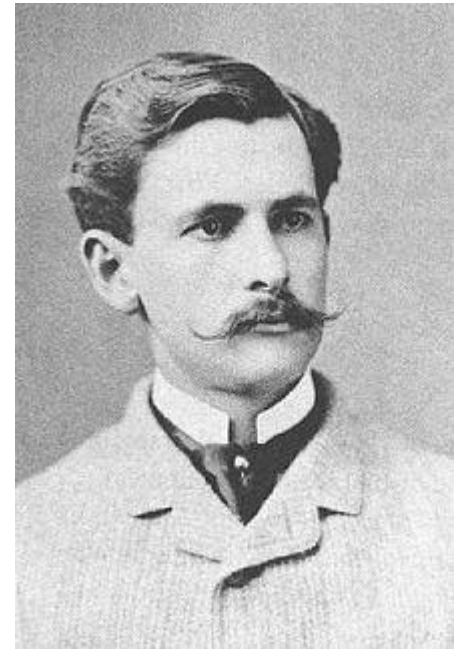
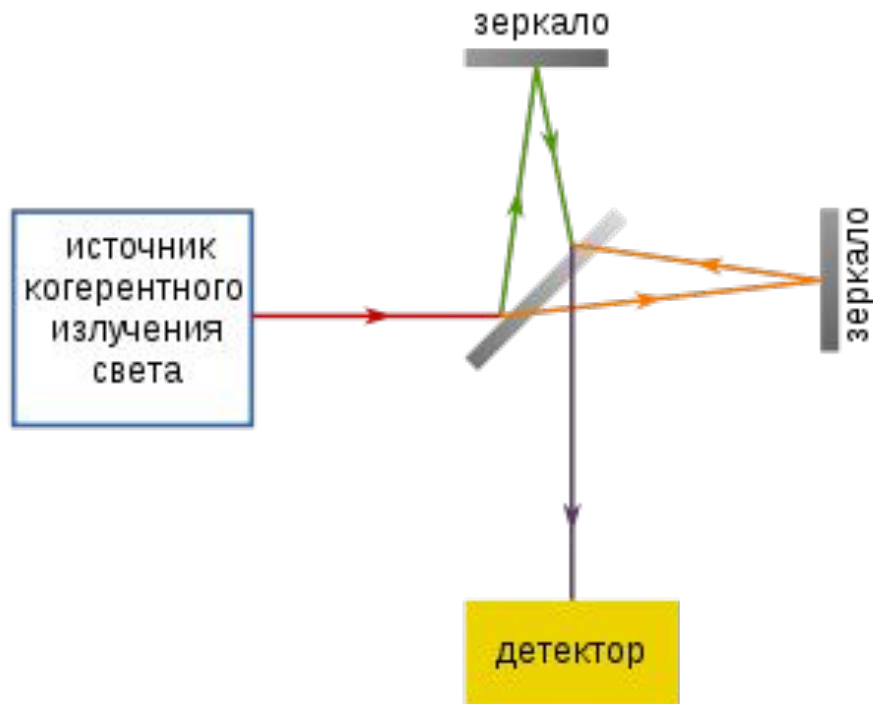


Рисунок 1.2. Примеры выбора тела отсчета, относительно которого поезд движется (а) и покоится (б)

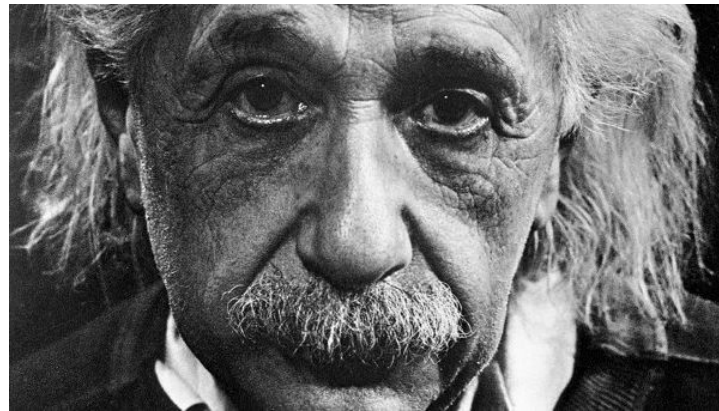
# Опыт Майкельсона

1881 г.

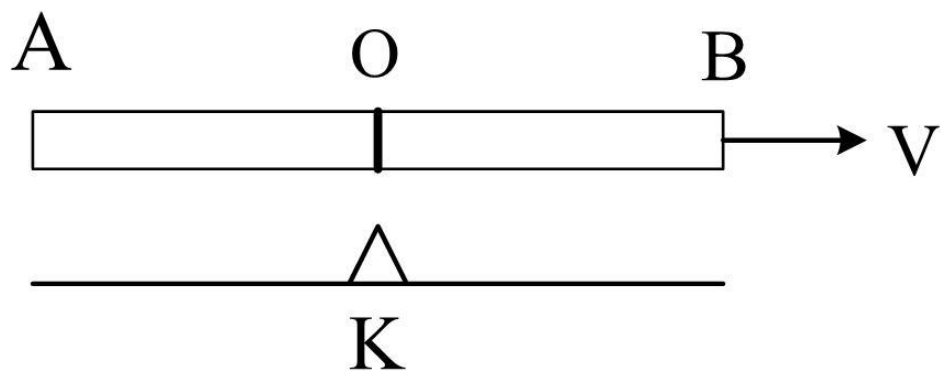


## Постулаты теории относительности (1905)

- 1) *Все законы природы одинаковы во всех инерциальных системах отсчета*
- 2) *Скорость света одинакова во всех ИСО и не зависит от движения источников и приемников света*

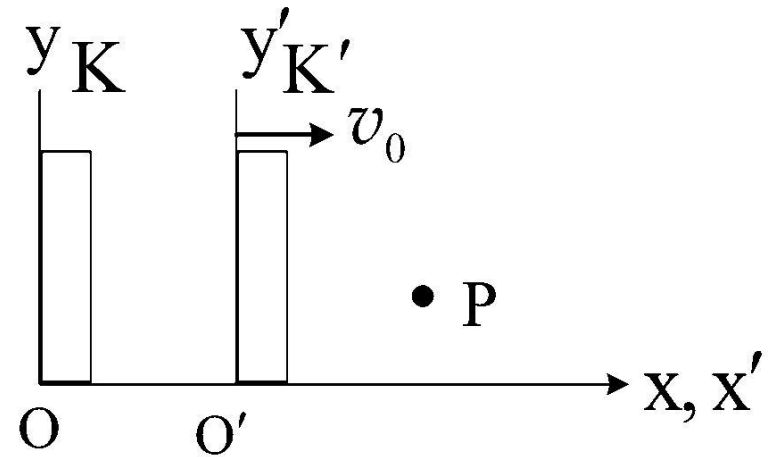
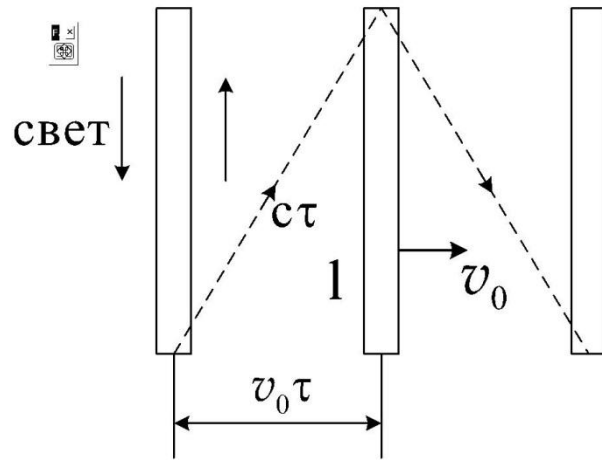


# Относительность одновременности





# Относительность промежутков времени

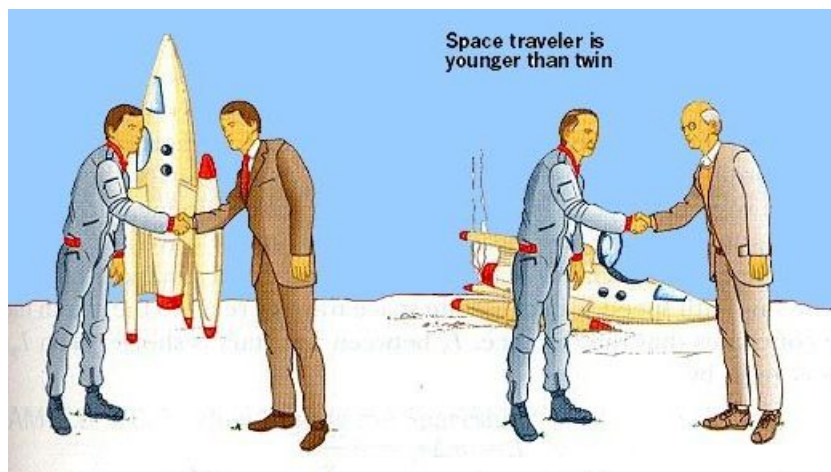


$\tau_0$  – собственное время

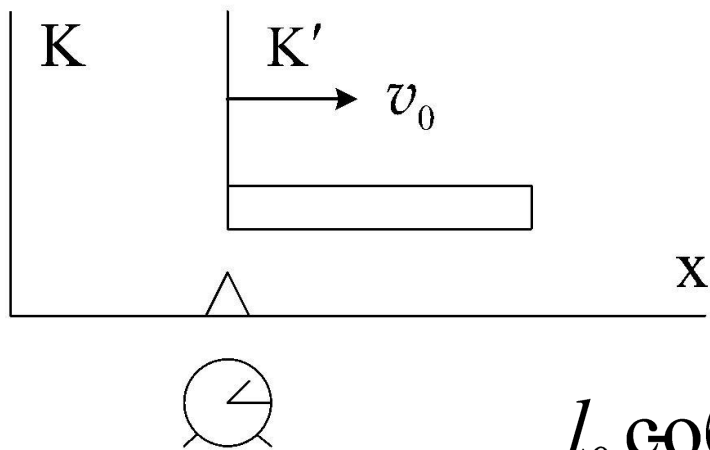
- Для неподвижных часов ( $K'$ )  $l = c\tau_0$
- Для движущихся часов ( $K$ )  $l = \sqrt{c^2\tau^2 - v_0^2\tau^2}$

$$c\tau_0 = c\tau \sqrt{1 - v_0^2/c^2} \rightarrow \tau_0 = \tau \sqrt{1 - v_0^2/c^2} \quad (3)$$

# Парадокс близнецов



## Относительность линейных размеров тела



*В K-системе  $l = v_0 \tau_0$   
(неподвижные часы)*

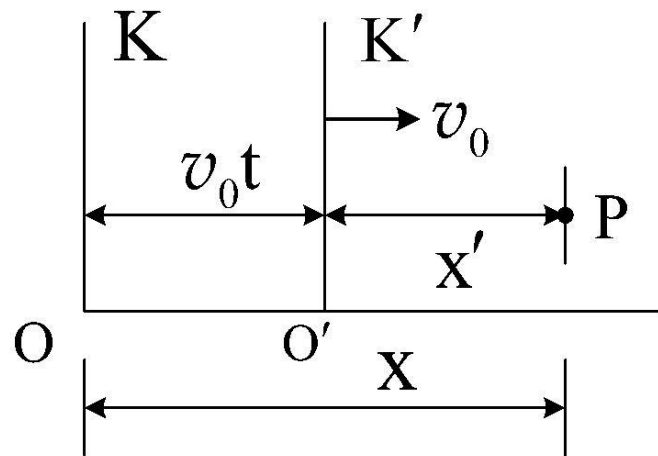
*В K'-системе  $l_0 = v_0 \tau$   
(движущиеся часы)*

$l_0$  собственная длина стержня

$$\frac{l}{l_0} = \frac{\tau_0}{\tau} = \sqrt{1 - v_0^2/c^2} \rightarrow$$

$$l = l_0 \sqrt{1 - v_0^2/c^2} \quad (4)$$

## Преобразования Лоренца



$$x = v_0 t + x' \quad (\rightarrow)$$

$$x = v_0 t + x' \sqrt{1 - v_0^2/c^2} \quad (\rightarrow)$$

$$x' = \frac{x - v_0 t}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}} \quad \leftrightarrow \quad x = \frac{x' + v_0 t'}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}}, \quad y = y', \quad z = z' \quad (5)$$

$$t' = \frac{t - xv_0/c^2}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}} \quad \leftrightarrow \quad t = \frac{t' + x'v_0/c^2}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}} \quad (6)$$



## Хендрик Антон Лоренц

нидерл. *Hendrik Antoon Lorentz*

Фотопортрет 1902 года

18 июля 1853

Арнем, Нидерланды

4 февраля 1928 (74 года)

*В 1892 году Лоренц ввёл теорию сокращения, предполагающую сокращение длин всех твёрдых тел в направлении движения.*

*Преобразования Лоренца были впервые опубликованы в 1904 году,*

## Преобразования скоростей

$$x = \frac{x' + v_0 t}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}} \rightarrow dx = \frac{dx' + v_0 dt}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}} \quad dy = dy', \quad dz = dz'$$

$$t = \frac{t' + x'v_0/c^2}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}} \rightarrow dt = \frac{dt' + dx'v_0/c^2}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}}$$

$$v_x = \frac{dx}{dt} = \frac{v'_x + v_0}{1 + v_0 v'_x / c^2}$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = \frac{v'_y \sqrt{1 - v_0^2/c^2}}{1 + v_0 v'_x / c^2}, \quad v_z = \frac{v'_z \sqrt{1 - v_0^2/c^2}}{1 + v_0 v'_x / c^2}$$

(7)

# Релятивистский импульс и энергия

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

~~$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$~~

$$\vec{p} = m \frac{d\vec{r}}{d\tau} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

(8) ( $d\tau$  – собственное время)

$$\vec{F} = \frac{d}{dt} \left( \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \right) \text{ закон Н.}$$

$$| \times dS = v dt$$

$$dA = dE = v d \left( \frac{mv}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \right) \rightarrow dE = d \left( \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \right)$$

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} + \text{const}$$

0

(9)

# Релятивистская энергия, кинетическая энергия

$$v = 0 \rightarrow E_0 = mc^2 \text{ энергия покоя} \quad (10)$$

$$K \equiv E - E_0 = mc^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - 1 \right) \quad (11)$$

$v \ll c \quad K = \frac{mv^2}{2}$

(8), (9) =>

$$E = c\sqrt{p^2 + m^2c^2} \quad (12)$$

$v \ll c \quad E \approx mc^2 + p^2/2m \rightarrow$   
 $K = p^2/2m$

$$\vec{p} = \frac{v}{c^2} E \quad (13)$$



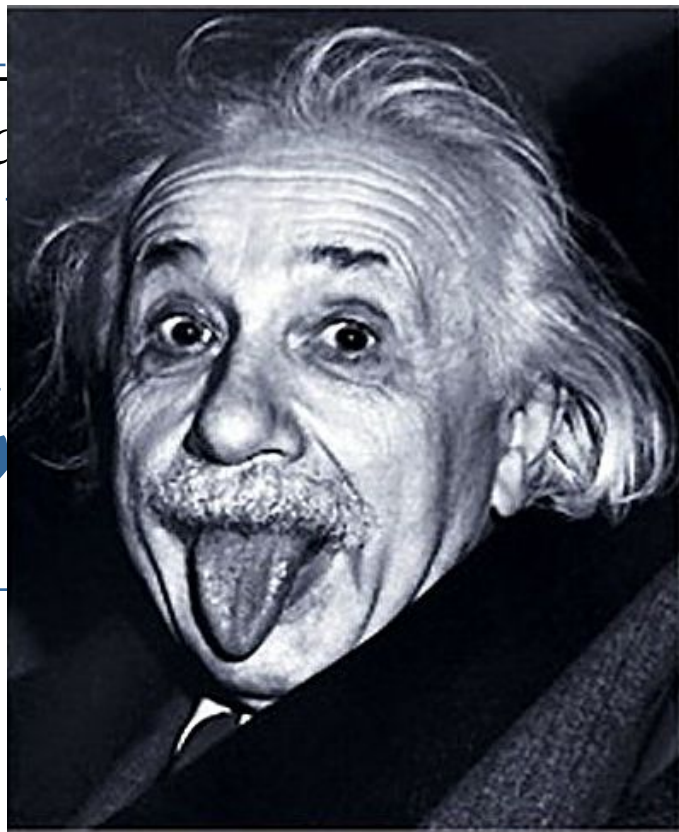
## Частицы с нулевой массой

Пусть  $m = 0$

$$E = c\sqrt{p^2 + m^2 c^2}$$

$$p = \frac{E}{c^2} v$$

Частицы с нулевой массой движутся со



$$pc$$

$$\frac{pc^2}{E} = c$$

н, нейтрино)