

# ЛЕКЦИЯ 4, часть 1.

## Элементы релятивистской механики

### *План лекции*

1. Принцип относительности Галилея в классической механике.
2. Принцип относительности Эйнштейна.
3. Преобразования Лоренца.
4. Некоторые следствия из преобразований Лоренца.

# ЭЛЕМЕНТЫ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ МЕХАНИКИ

## Принцип относительности Галилея (сведения из классической механики)

Любое механическое явление протекает одинаково во всех инерциальных системах отсчета.

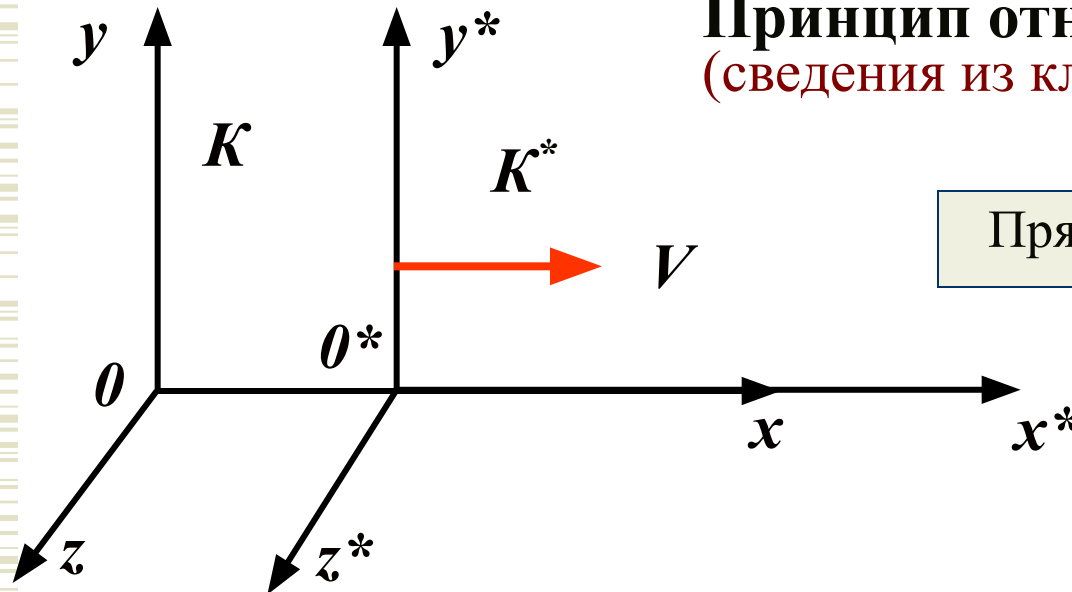
Никакими механическими опытами, проводимыми в инерциальной системе отсчета, нельзя установить, движется эта ли эта система отсчета прямолинейно и равномерно, или покоится.

Принципу относительности Галилея соответствуют преобразования координат Галилея.

Преобразования Галилея позволяют по известным координатам и времени некоторого события в одной инерциальной системе отсчета, найти координаты и время этого же события в другой инерциальной системе, движущейся относительно первой с некоторой скоростью  $V$ .

# ЭЛЕМЕНТЫ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ МЕХАНИКИ

## Принцип относительности Галилея (сведения из классической механики)



Прямые преобразования Галилея:

$$\begin{aligned}x &= x^* + Vt^* \\ y &= y^* \\ z &= z^* \\ t &= t^*\end{aligned}$$

Обратные преобразования Галилея:

$$x^* = x - Vt \quad y^* = y \quad z^* = z \quad t^* = t$$

# ЭЛЕМЕНТЫ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ МЕХАНИКИ

## Принцип относительности Галилея (сведения из классической механики)

Уравнения классической механики (например законы Ньютона) инвариантны или одинаковы относительно преобразований.

Физические величины, которые при преобразованиях Галилея остаются неизменными, называются инвариантами Галилея.

Среди основных инвариантов классической механики можно особо выделить пространственный интервал  $\Delta l_{12}$  (расстояние между двумя пространственными точками) и временной интервал  $\Delta t = \Delta t^*$ .

*Принцип относительности и преобразования Галилея отражают представления об абсолютном пространстве и абсолютном времени, которые лежат в основе классической механики. С точки зрения классической механики время абсолютно и во всех системах отсчета течет одинаково.*

# ЭЛЕМЕНТЫ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ МЕХАНИКИ

## Принцип относительности Эйнштейна

Главные идеи специальной теории относительности:

1. Все физические явления (не только механические) в инерциальных системах протекают одинаково.

Это сформулированный в общем виде принцип относительности Эйнштейна.

2. Скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчета и не зависит от источников и приемников света, т. е. является универсальной постоянной.

Скорость света в вакууме равна  $2,99793 \cdot 10^8$  м/с

# ЭЛЕМЕНТЫ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ МЕХАНИКИ

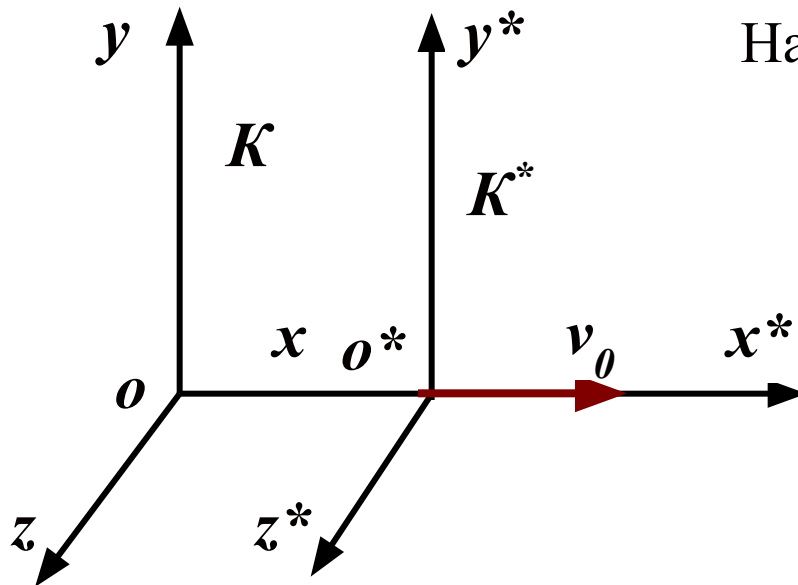
## Принцип относительности Эйнштейна

Скорость света в вакууме не только универсальная постоянная. Это максимально возможная скорость движения в природе. Никакой сигнал, никакое воздействие одного тела на другое не может распространяться со скоростью, большей скорости света в вакууме.

*Итак, в основе специальной теории относительности лежат два постулата: обобщенный принцип относительности и принцип постоянства скорости света в вакууме.*

# ЭЛЕМЕНТЫ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ МЕХАНИКИ

## Преобразования Лоренца



Найдем преобразования для  $x$  и  $t$ .

$$\begin{cases} x = \gamma(x^* + v_0 t^*) \\ x^* = \gamma(x - v_0 t) \end{cases}$$

где  $\gamma$  - константа.

Вследствие равноправности систем отсчета величина коэффициент  $\gamma$  не должен изменяться при переходе от  $K$  к  $K^*$  и наоборот.

# ЭЛЕМЕНТЫ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ МЕХАНИКИ

## Преобразования Лоренца

Система  $K^*$  движется относительно неподвижной системы  $K$  со скоростью  $v_0$ .

$$x = \gamma(x^* + v_0 t^*) \quad x^* = \gamma(x - v_0 t)$$

Пусть в момент времени  $t^* = t = 0$  начала координат систем  $K$  и  $K^*$  совпадают.

В этот момент времени  $t^* = t = 0$  в направлении осей  $x^*$  и  $x$  направляется световой сигнал, который производит вспышку на экране.

Это событие характеризуется в системе  $K$  координатой  $x$  и моментом времени  $t$ , а в системе  $K^*$  координатой  $x^*$  и моментом времени  $t^*$ :

$$x = ct \quad x^* = ct^*$$



# ЭЛЕМЕНТЫ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ МЕХАНИКИ

## Преобразования Лоренца

Подставим в формулы преобразования, получим

$$ct = \gamma(ct^* + v_0 t^*) = \gamma(c + v_0) t^*$$

$$ct^* = \gamma(ct - v_0 t) = \gamma(c - v_0) t$$

Перемножим соотношения

$$\cancel{c^2 t t^*} = \gamma^2 (c^2 - v_0^2) \cancel{t t^*}$$

$$c^2 = \gamma^2 (c^2 - v_0^2)$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v_0^2 / c^2}}$$

# ЭЛЕМЕНТЫ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ МЕХАНИКИ

## Преобразования Лоренца

Подставим соотношение для  $\gamma$  в формулы преобразования

$$x = \frac{x^* + v_0 t^*}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}} \quad x^* = \frac{x - v_0 t}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}}$$

Исключим из полученных соотношений  $x$  и разрешим их для  $t$

$$t = \frac{t^* + (v_0/c^2) x^*}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}}$$

# ЭЛЕМЕНТЫ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ МЕХАНИКИ

## Преобразования Лоренца

Обозначим  $\beta = \frac{v_0}{c}$

В итоге имеем совокупность формул, получивших название **преобразований Лоренца:**

$$\begin{aligned}x &= \frac{x^* + \beta c t^*}{\sqrt{1 - \beta^2}} & y &= y^* & t &= \frac{t^* + (\beta / c)x^*}{\sqrt{1 - \beta^2}} \\z &= z^*\end{aligned}$$

# ЭЛЕМЕНТЫ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ МЕХАНИКИ

## Преобразования Лоренца

Обратные преобразования Лоренца:

$$x^* = \frac{x - \beta ct}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad y^* = y \quad t^* = \frac{t + (\beta / c)x}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

$$z^* = z$$

По приведенным формулам производится обратный переход от системы отсчета  $K^*$  к системе  $K$ .

**ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ ИНВАРИАНТНЫ ОТНОСИТЕЛЬНО ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ЛОРЕНЦА**



еще одна формулировка принципа относительности.

# ЭЛЕМЕНТЫ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ МЕХАНИКИ

## Преобразования Лоренца

В предельном случае при  $\beta = \frac{v_0}{c} \rightarrow 0$ , т. е. при  $v_0 \ll c$  получаем преобразования Галилея:

Прямые преобразования Галилея:

Обратные преобразования Галилея:

$$x^* = x - vt \quad y^* = y \quad z^* = z \quad t^* = t$$

$$\begin{aligned} x &= x^* + vt^* \\ y &= y^* \\ z &= z^* \\ t &= t^* \end{aligned}$$