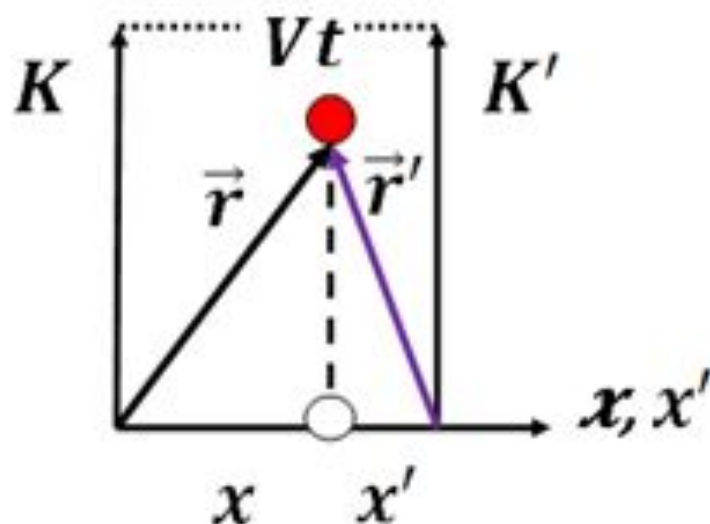


● *Элементы теории относительности*

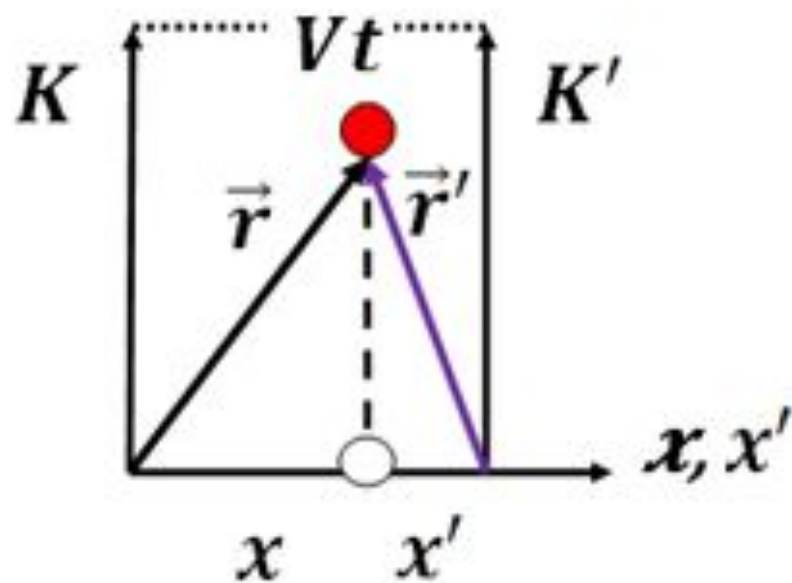
● *9.1. Преобразования Галилея. Принцип относительности Галилея.*

При стрельбе по движущейся цели или из движущегося оружия прицеливаться надо иначе. Вид траектории тела зависит от СК, где находится наблюдатель.

Как пересчитывать движение из одной СК в другую?



Пусть (\vec{r}, t) - пространственно-временные координаты события для K - наблюдателя и (r', t') - для K' .



“Очевидно”: $t = t'$, $\vec{r} = \vec{V}t + \vec{r}'$, $\vec{r}' = \vec{r} - \vec{V}t$
 - *преобразования Галилея.*

То есть $x' = x - Vt$ и $x = x' + Vt$.

Другие координаты не меняются. Здесь
 $V = \text{const}$.

$$x' = x - Vt$$

Пример: K' - автобус. Для падающего в нем

тела: $x' = 0, y' = h - gt^2 / 2$.

В K : $x = Vt, y = h - gt^2 / 2 = ?$ (парабола)

$$x' = x - Vt \quad x = x' + Vt.$$

По Галилею: $v_x' = v_x - V, v_x = v_x' + V.$

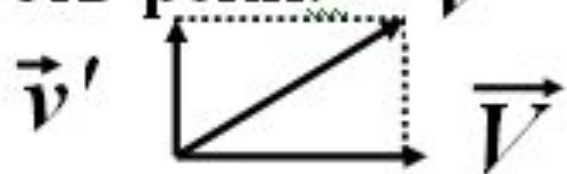
v_y, v_z не меняются - *закон сложения скоростей.*

$$v_x' = v_x - V, v_x = v_x' + V$$

Для лодки, плывущей через реку (старт с плота):

K - Берег, K' - Плот, V - скорость реки. \vec{v}

$$K': v_x' = 0, v_y' = v_0.$$



$K: v_x = V, v_y = v_0$ (обе проекции $\neq 0$).

$$v_x' = v_x - V, v_x = v_x' + V$$

Координаты и скорости *зависят* от СК = они *относительные*.

Ускорение не зависит: $a' = a$.

?? *2-й закон Ньютона* в K' ?? Замена в нем $(\vec{r}, t) \rightarrow (\vec{r}', t')$ по Галилею показывает, что вид уравнения не меняется. Оно *инвариантно относительно преобразования Галилея*.

Неизменность уравнений = неизменность
физики (и техники). («Закон Ньютона – и в
Африке – закон»). В «не-физике» иначе).

Одинаковость механики во всех СК, которые движутся равномерно = *принцип относительности Галилея*. Такие системы – *инерциальные*. (А электричество?)

Если СК НЕинерциальная, то 2-3-Н имеет другой вид: к реальным силам добавляется *сила инерции (центробежная сила инерции, если СК вращается.*

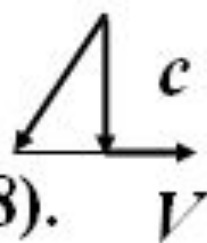




9.2. Преобразования Лоренца

Преобразования Галилея для x, t верны только для малых (по сравнению со скоростью света) скоростей. Это увидели, когда закон сложения скоростей стали применять в опытах со светом.

Аберация звезд: видимое положение звезды
отлично от истины: $\text{tg } \alpha = \frac{V}{c}$. (Брэдли, 1728).



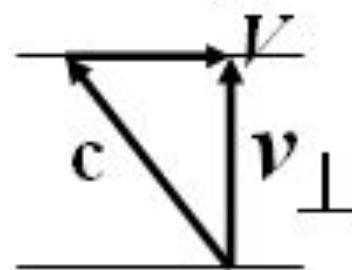
В *опыте Физо* (1851) свет распространялся по и против течения (прозрачной) жидкости.

В жидкости $v = c / n$ и ожидали, что будет $v' = \frac{c}{n} \pm V$. Опыт дал другой результат.

В *опыте Майкельсона* измерялась скорость света вдоль и поперек движения Земли вокруг Солнца.

Вместо различных $v_{\uparrow\uparrow}' = c \pm V$

и $v_{\perp}' = \sqrt{c^2 - V^2}$ получилось их равенство.



Противоречия устранятся, если преобр. Галилея заменить на *преобразования Лоренца*:

$$x' = \frac{x - Vt}{\sqrt{1 - (V/c)^2}}, \quad t' = \frac{t + Vx/c^2}{\sqrt{1 - (V/c)^2}}$$

При малых скоростях ($V \ll c$) они совпадают с преобр. Галилея.

$$x' = x - Vt \quad \cdot \quad x = x' + Vt. \quad t' = t$$

В «обратных» формулах надо заменить V на $-V$

Меняется и *закон сложения скоростей*:

$$v'_x = \frac{v_x - V}{1 - v_x V / c^2}, \text{ (при } v_x = c \quad v'_x = c -$$

скорость света в любой СК одна и та же).

Если скорости складывать по этим ф-лам, то противоречия исчезают.



9.3. Парадоксы теории относительности

Сокращение длин.

Два способа измерения длины движущегося предмета: *фотографирование*: $l = x_2 - x_1$ и *секундомер*: $l = V(t_2 - t_1)$.

Для K два события: фото левого конца:
 (x_1, t_1) и фото правого: (x_2, t_1) .

Для K' : (предмет)

$$x_1' = \frac{x_1 - Vt_1}{\sqrt{1 - (V/c)^2}} \quad x_2' = \frac{x_2 - Vt_1}{\sqrt{1 - (V/c)^2}}$$

$$x_2' - x_1' \equiv l_0 = \frac{l}{\sqrt{1 - (V/c)^2}}.$$

$$x' = \frac{x - Vt}{\sqrt{1 - (V/c)^2}}$$

$l = l_0 \sqrt{1 - (V / c)^2}$. *Движущийся предмет короче неподвижного.* То же дает метод секундомера.



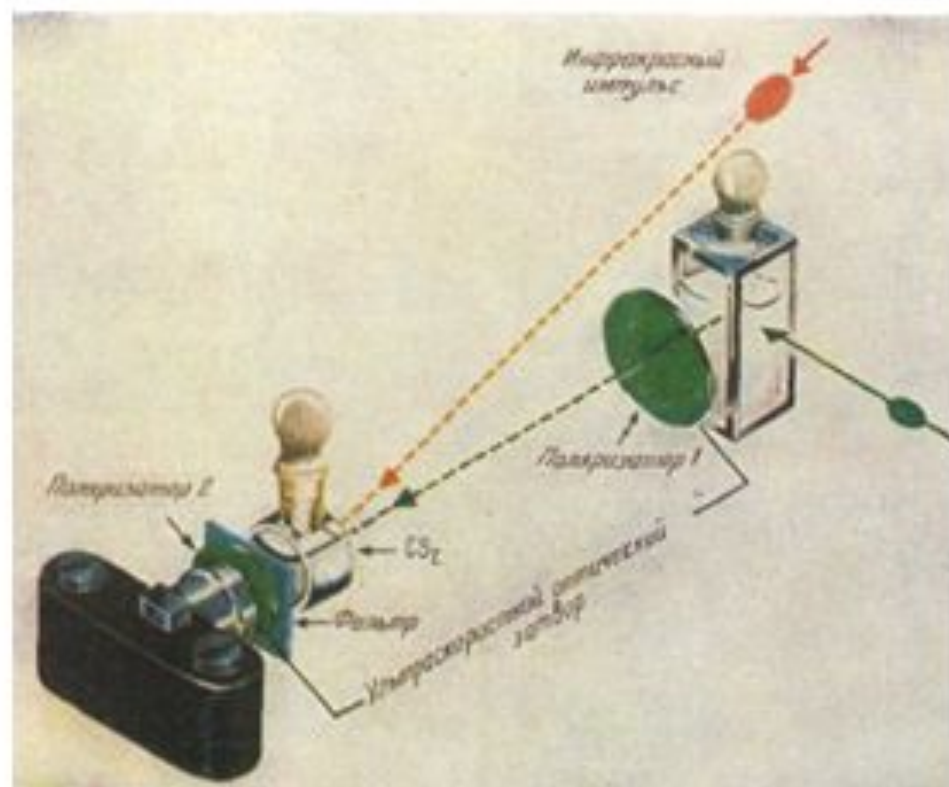
Видимая форма движущегося предмета.

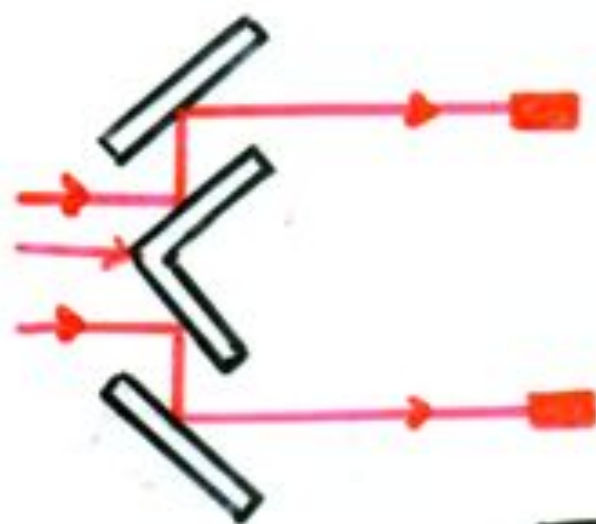
Лучше один раз увидеть?

Большие и быстрые предметы на фото выглядят «не так».

(«Мысль о вещи может больше сказать, чем взгляд на нее» М. Гаспаров).

Дюге (1970) изобрел затвор, открывающийся на 10^{-11} с (система становится прозрачной на время электрич. импульса),





и

и снял «световую гантель»,
которая на снимке получилась повернутой.

Парадокс близнецов.

Пусть в K' произошли два события: (x', t_1') ,

(x', t_2') . $\tau_0 = t_2' - t_1'$

- *собственное время* (по часам K').

Для K это $(x_1, t_1), (x_2, t_2)$. По

Лоренцу: $t_1 = ??, t_2 = ??$.

По K - часам $\tau = t_2 - t_1 = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - (V/c)^2}}$.

$\tau > \tau_0$ - движущиеся часы идут медленнее.

Это подтвердил самолетный эксперимент с атомными часами и регистрация μ - мезонов.

$$t' = \frac{t + Vx/c^2}{\sqrt{1 - (V/c)^2}}$$

Парадокс близнецов: если один из двух братьев – близнецов полетит на космическом корабле со скоростью, близкой к скорости света, то по возвращению он окажется моложе оставшегося на Земле: движущиеся (биологические) часы идут медленнее.

Однородность и одновременность до и по ТО.

Для событий (x_1, t_1) и (x_2, t_2) по Галилею

$$t'_2 - t'_1 = t_2 - t_1.$$

Одновременность и $t_2 > t_1$ выполняются и в

K , и в K'

$$x'_2 - x'_1 = x_2 - x_1 - V(t_2 - t_1).$$

(Не)однородность. Слева \leftrightarrow справа.

$$x' = x - Vt$$

По ТО события, одновременные в одной СК будут не одновременными в другой. Могут поменяться и «раньше» - «позже».

Причина и следствие. По ТО Δt и $\Delta t'$ могут иметь разные знаки («раньше» стало «позже»), но только для событий, не являющихся причиной и следствием.