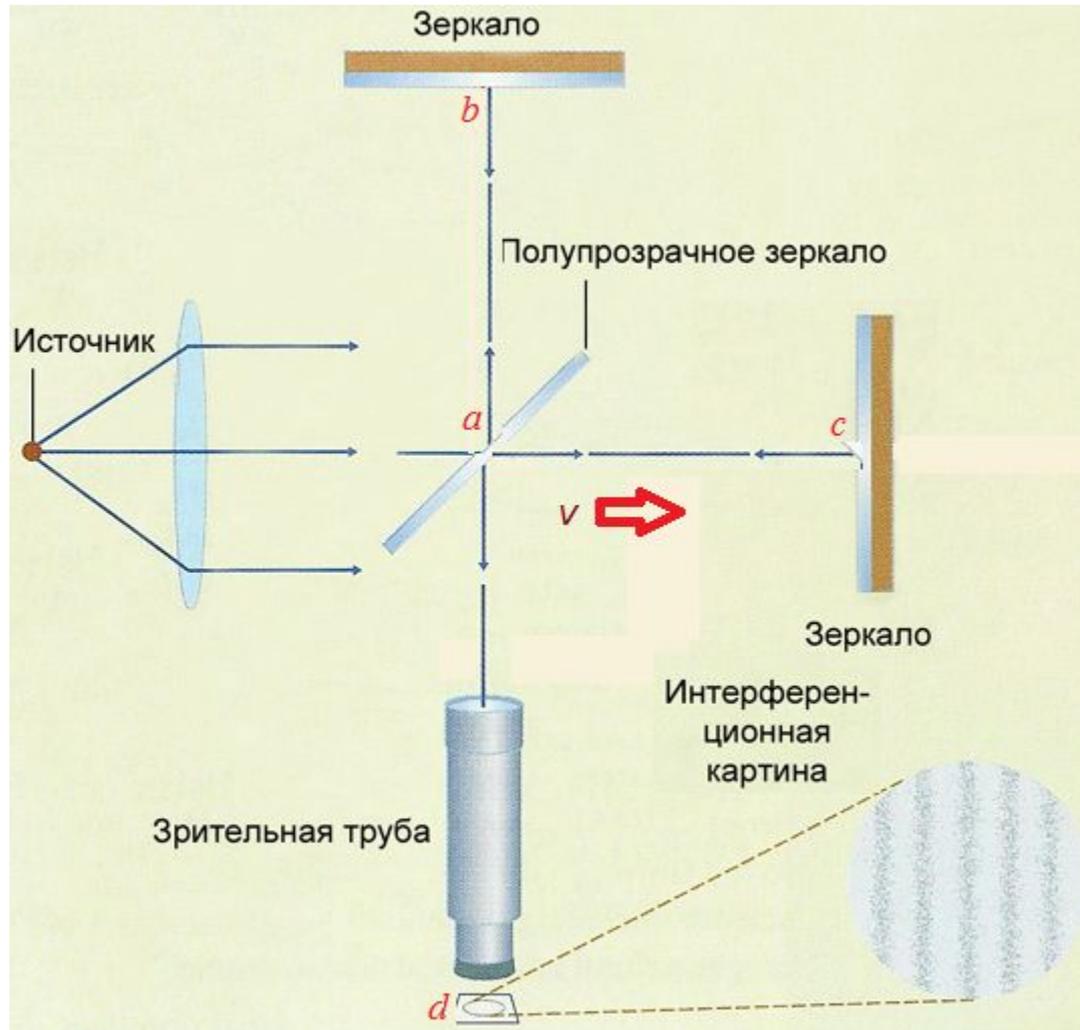


ЛЕКЦИЯ №6 **Специальная теория относительности**

Основные представления классической физики

1. Пространство, имеющее три измерения, подчиняется евклидовой геометрии.
2. Наряду с трехмерным пространством существует независимое от него время.
3. Размеры твердых тел и промежутки времени между данными событиями одинаковы в разных системах отсчета.
4. Выполняются преобразования Галилея, выражающие в рамках классической физики, пространственно-временную связь любого события в разных инерциальных системах отсчета.
5. Выполняются законы Ньютона.
6. Соблюдается принцип относительности Галилея: никакие механические опыты, проведенные внутри данной инерциальной системы, не дают возможности обнаружить покоится ли эта система или движется равномерно и прямолинейно.
7. Соблюдается принцип дальнего действия: взаимодействия тел распространяются мгновенно, т.е. с бесконечно большой скоростью.

Экспериментальная основа СТО: опыт Майкельсона (1881 г.)



Если бы скорость света зависела от скорости источника, то промежутки времени за которые свет проходит одинаковые отрезки пути ($abad$) и ($acad$) изменялись бы на неодинаковые величины. Это изменение можно было бы обнаружить по сдвигу интерференционной картины в плоскости d .

Однако смещение интерференционной картины обнаружено не было.

Вывод: Скорость света не зависит от относительного движения источника и приемника излучения.

Специальная теория относительности (СТО) (релятивистская механика) – физическая теория, созданная Альбертом Эйнштейном (1905 г.) и изучающая движение тел со скоростями, близкими к скорости света в вакууме ($c=3 \cdot 10^8$ м/с).

Специальная теория относительности опирается на два постулата.

Первый постулат (принцип относительности Эйнштейна): в любых инерциальных системах отсчета все физические явления при одних и тех же условиях протекают одинаково.

Второй постулат (принцип инвариантности скорости света): скорость света в вакууме не зависит от движения источника и приемника света; она одинакова во всех направлениях и во всех инерциальных системах отсчета, являясь одной из важнейших физических постоянных.

Второй постулат СТО противоречит практически всем перечисленным выше пунктам представлений классической физики.

Преобразования Галилея

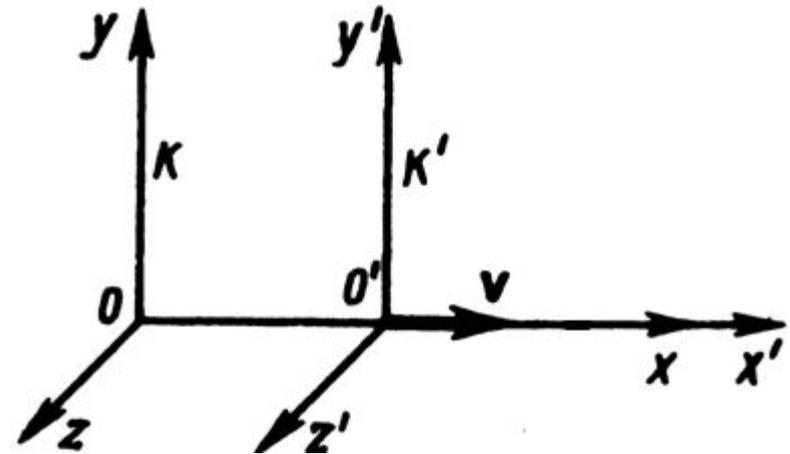
Рассмотрим две инерциальные системы отсчета (ИСО): «неподвижную» K -систему и движущуюся K' -систему. Пусть в начальный момент времени начала и декартовы оси этих систем совпадают друг с другом; часы, жестко связанные с каждой из систем синхронизированы (т.е. показывают одно и то же время, равное, например, нулю) и вектор скорости \vec{v} K' -системы лежит вдоль оси OO' .

Тогда в соответствии с преобразованиями Галилея во все последующие моменты времени часы, жестко связанные с K - и K' -системами, будут показывать одно и то же время:

$$t' = t, \quad (6.1)$$

а координаты любого события в K' -системе будут выражаться через координаты и время в K -системе, с помощью уравнений:

$$x' = x - vt, \quad y' = y, \quad z' = z. \quad (6.2)$$



Уравнения (6.1) и (6.2) вместе образуют совокупность уравнений, которые и называют преобразованиями Галилея.

Преобразования Галилея **противоречат** второму постулату Эйнштейна. Поэтому в рамках СТО переход от одной ИСО к другой производят на основе **преобразований Лоренца** (голландский физик Хендрик Лоренц, 1904 г.).

$$\begin{array}{l}
 \mathbf{K} \rightarrow \mathbf{K}' : \\
 \left. \begin{array}{l}
 x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \beta^2}} \\
 y' = y \\
 z' = z \\
 t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}
 \end{array} \right\} (6.3)
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \mathbf{K}' \rightarrow \mathbf{K} : \\
 \left. \begin{array}{l}
 x = \frac{x' + vt}{\sqrt{1 - \beta^2}} \\
 y = y' \\
 z = z' \\
 t = \frac{t' + vx'/c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}
 \end{array} \right\}, (6.4)
 \end{array}$$

где

$$\beta = v/c \quad . \quad (6.5)$$

Из преобразований Лоренца получают **все кинематические эффекты СТО.**

Следствия из преобразований Лоренца

Сложение скоростей

Преобразования Галилея \longrightarrow Классическая формула:

$$u_x = u'_x + v \quad (6.6)$$

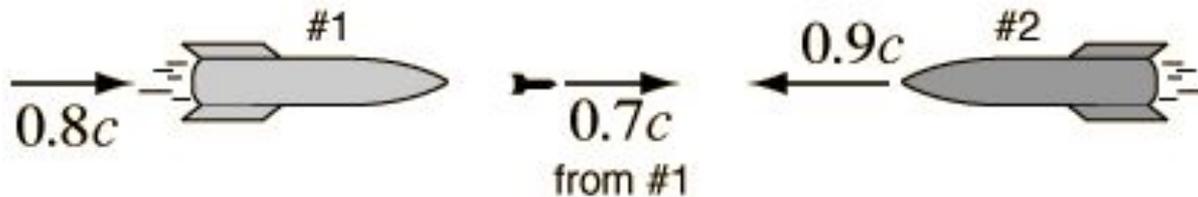
Преобразования Лоренца

Релятивистская формула:

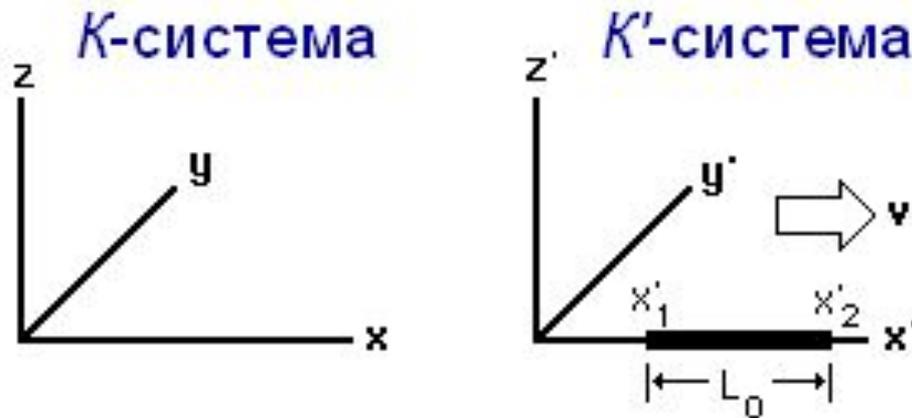
$$u'_x = \frac{u_x - v}{1 - \frac{u_x v}{c^2}} \quad (6.8)$$

$$u_x = \frac{u'_x + v}{1 + \frac{u'_x v}{c^2}} \quad (6.7)$$

где u_x - скорость тела относительно K -системы; u'_x - скорость этого же тела относительно K' -системы;



Сокращение продольных размеров тела



Пусть L_0 – «собственная» длина стержня, т.е. длина стержня, измеренная в той системе координат относительно которой стержень покоится.

В K -системе, относительно которой стержень движется, длина стержня

$$L = L_0 \sqrt{1 - \beta^2}$$

(6.9)

т.е. линейные размеры тела относительноны, они максимальны в той инерциальной системе отсчета, относительно которой тело покоится.

Замедление времени

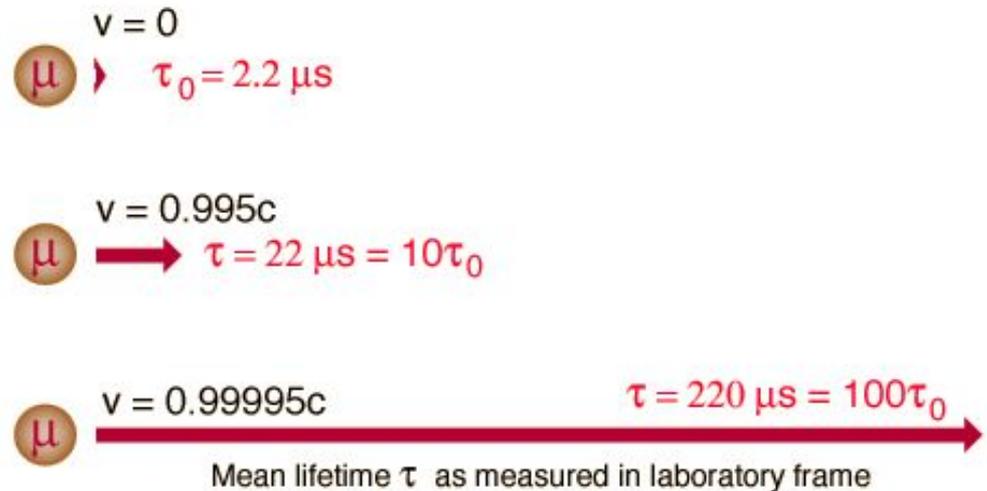
Пусть в K' -системе два рассматриваемых события 1 и 2 происходят в одной и той же (неподвижной относительно K' -системы) точке в моменты времени t'_1 и t'_2 , так что промежуток времени между этими событиями $\tau_0 = t'_2 - t'_1$.

В K -системе промежуток времени между событиями 1 и 2

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-\beta^2}}, \quad (6.10)$$

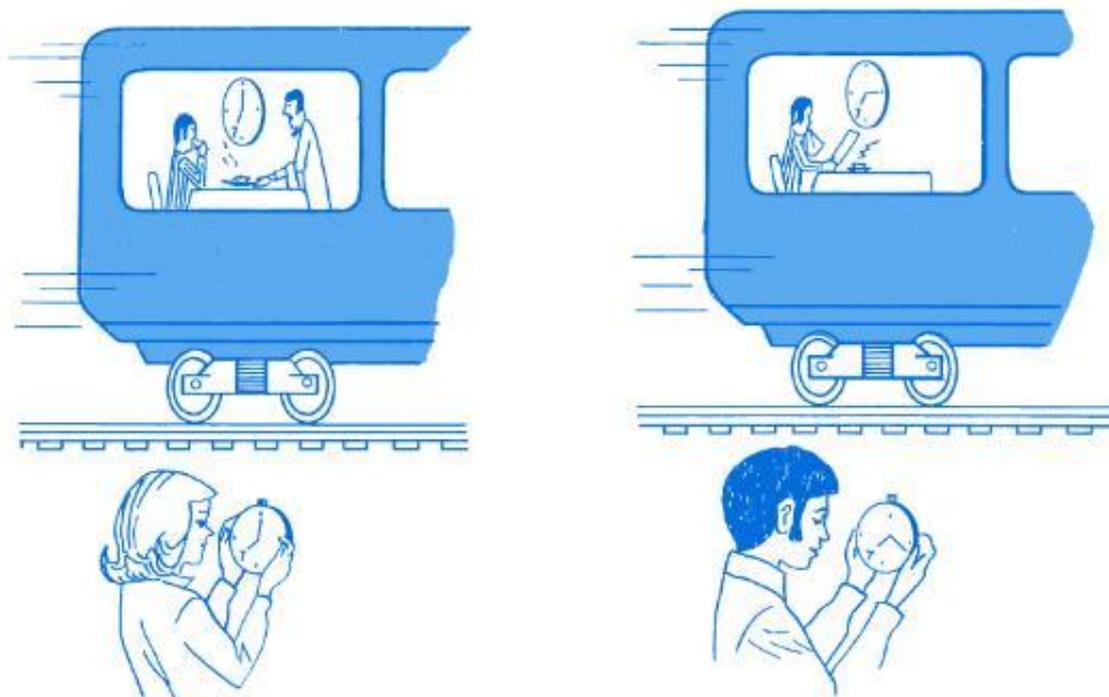
т.е. промежуток времени между двумя событиями минимален в той инерциальной системе отсчета, относительно которой оба события совершаются в одной и той же точке.

Собственным временем данного объекта называется время, измеряемое по часам, движущимся с данным объектом.



Замедление времени

По точным часам в салоне мчащегося поезда пассажир приступает к обеду в 7^{00} (рисунок слева) и заканчивает обед в 7^{15} (рисунок справа). В начале обеда наблюдатели на земле установили свои часы по часам в салоне поезда. По измерениям этих наблюдателей обед в вагоне-ресторане продолжался 20 мин.



Масса, импульс и энергия релятивистской частицы

Релятивистской называется частица, движущаяся со скоростью, близкой к скорости света.

Масса: $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$. (6.11) Импульс: $\vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1-\beta^2}}$, (6.12)

где m_0 – масса покоящейся частицы («собственная» масса)

Кинетическая энергия: $K = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right)$. (6.13)

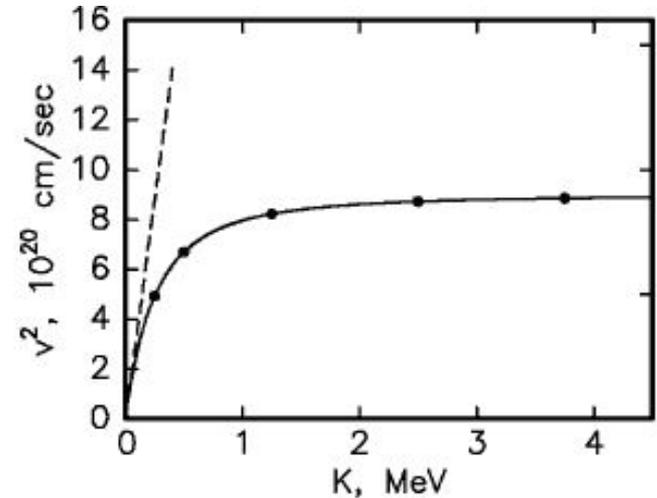
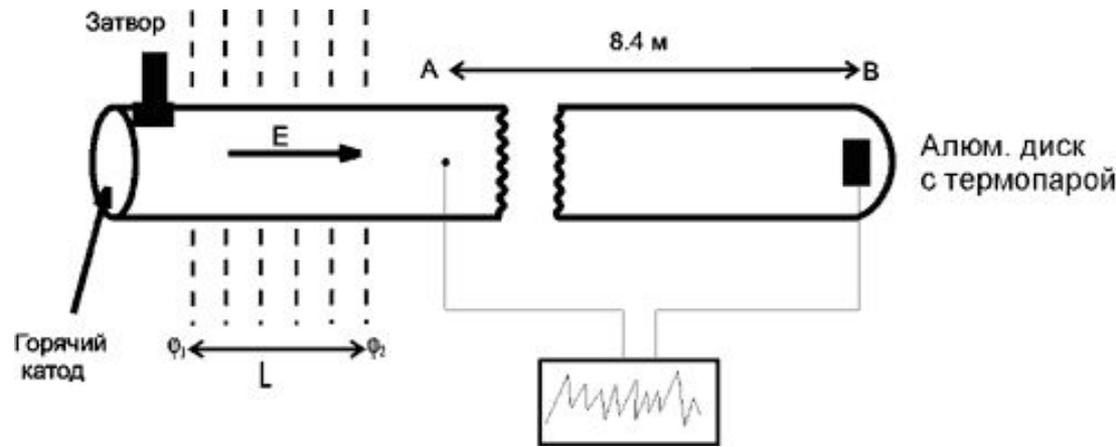
Закон взаимосвязи массы и энергии

(6.14) $E = mc^2 = m_0 c^2 + K$,

где E – полная энергия тела, включающая кинетическую, электрическую, химическую и т.д. виды энергии $E_0 = m_0 c^2$ за исключением потенциальной энергии тела во внешнем поле; $E_0 = m_0 c^2$ - энергия покоя («собственная» энергия) тела .

Скорость и кинетическая энергия релятивистских электронов

Уильям Бертоцци (1964 г.)



В этом опыте электроны разгонялись в ускорителе Ван-де-Граафа, а затем двигались с постоянной скоростью через пространство, свободное от электрического поля. Время их полета на известном расстоянии АВ, а следовательно и их скорость, измерялись непосредственно, а кинетическая энергия (переходящая в тепло при ударе о мишень в конце пути) измерялась с помощью термопары.

На основании классической механики график зависимости v^2 от кинетической энергии K должен быть прямой линией. Однако для энергий электронов, превышающих примерно 10^5 эВ, линейное соотношение между v^2 и K экспериментально не выполнялось. Вместо этого в эксперименте наблюдалось, что скорость частиц при больших энергиях приближалась к предельной величине равной $3 \cdot 10^{10}$ см/с.