

Специальная теория относительности

1 Постулаты СТО. Синхронизация часов.

2 Преобразования Лоренца и требование релятивистской инвариантности.

3 Измерение длин и промежутков времени.

Специальная (или частная) теория относительности (СТО)

- представляет собой современную физическую теорию пространства и времени.
- Наряду с квантовой механикой, СТО служит теоретической базой современной физики и техники.
- СТО часто называют *релятивистской теорией*, а специфические явления, описываемые этой теорией, – *релятивистскими эффектами*.
 - Эти эффекты наиболее отчетливо проявляются при скоростях движения тел, близких к скорости света в вакууме $c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с.

Создатели СТО

Специальная теория относительности была создана *А. Эйнштейном* (1905 г.).

Предшественниками Эйнштейна, очень близко подошедшими к решению проблемы, были нидерландский физик *Х. Лоренц* и выдающийся французский физик *А. Пуанкаре*.

Значительный вклад внесли Д. Лармор, Д.Фитцджеральд, математик Г. Минковский.

Альберт Эйнштейн (Einstein) (14.III.1879– 18.IV.1955)

- Физик-теоретик, один из основателей современной физики. Родился в Германии, с 1893 жил в Швейцарии, в 1933 эмигрировал в США.
- В 1905 вышла в свет его первая серьезная научная работа, посвященная броуновскому движению: «О движении взвешенных в покоящейся жидкости частиц, вытекающем из молекулярно-кинетической теории». В том же году вышла и другая работа Эйнштейна «Об одной эвристической точке зрения на возникновение и превращение света». Вслед за Максом Планком он выдвинул предположение, что свет испускается и поглощается дискретно, и сумел объяснить фотоэффект. Эта работа была удостоена Нобелевской премии (1921).
- Наибольшую известность Эйнштейну все же принесла теория относительности, изложенная им впервые в 1905 году, в статье «К электродинамике движущихся тел».



Хендрик Антон Лоренц (Lorentz)

(18.VII.1853–4.II.1898)



Нидерландский физик-теоретик, создатель классической электронной теории. Работы в области электродинамики, термодинамики, оптики, теории излучения, атомной физики.

Исходя из электромагнитной теории Максвелла–Герца и вводя в учение об электричестве атомистику, создал (1880–1909) классическую электронную теорию, основанную на анализе движений дискретных электрических зарядов. Вывел формулу, связывающую диэлектрическую проницаемость с плотностью диэлектрика, и зависимость показателя преломления вещества от его плотности (формула Лоренца–Лоренца), дал выражение для силы, действующей на движущийся заряд в магнитном поле (сила Лоренца), объяснил зависимость электропроводности вещества от теплопроводности, развил теорию дисперсии света.

Для объяснения опыта Майкельсона–Морли выдвинул (1892) гипотезу о сокращении размеров тел в направлении их движения (сокращение Лоренца). В 1904 вывел формулы, связывающие между собой пространственные координаты и моменты времени одного и того же события в двух различных инерциальных системах отсчета (преобразования Лоренца). Подготовил переход к теории относительности.

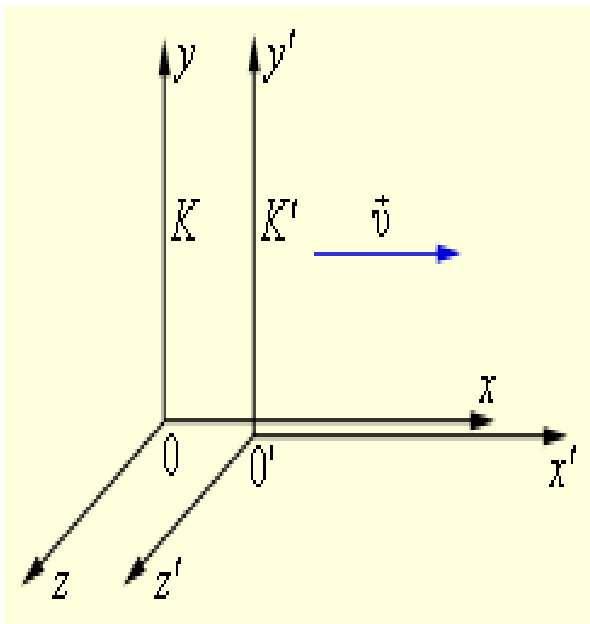
Анри Пуанкаре (Poincare) (29.IV.1854–17.VII.1912)

- Французский математик и физик. Основные труды по топологии, теории вероятностей, теории дифференциальных уравнений, теории автоморфных функций, неевклидовой геометрии. Занимался математической физикой, в частности теорией потенциала, теорией теплопроводности, а также решением различных задач по механики и астрономии.



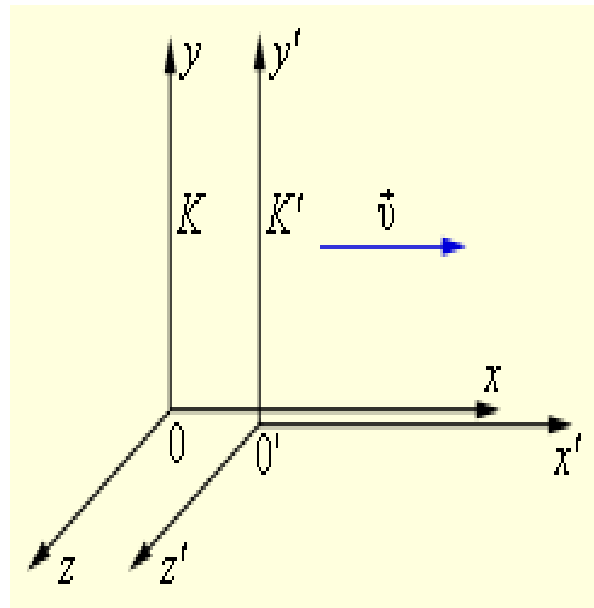
В 1905 написал сочинения «О динамике электрона», в которой независимо от А. Эйнштейна развил математические следствия «постулата относительности».

Принцип относительности и преобразования Галилея.



- **законы динамики одинаковы во всех инерциальных системах отсчета.**
 - Этот принцип означает, что законы динамики **инвариантны** (т. е. неизменны) относительно **преобразований Галилея**, которые позволяют вычислить координаты движущегося тела в одной инерциальной системе (K), если заданы координаты этого тела в другой инерциальной системе (K').
- В частном случае, когда система K' движется со скоростью v вдоль положительного направления оси x системы K преобразования Галилея имеют вид:
$$x = x' + v_x t, \quad y = y', \quad z = z', \quad t = t'.$$
В начальный момент оси координат обеих систем совпадают.

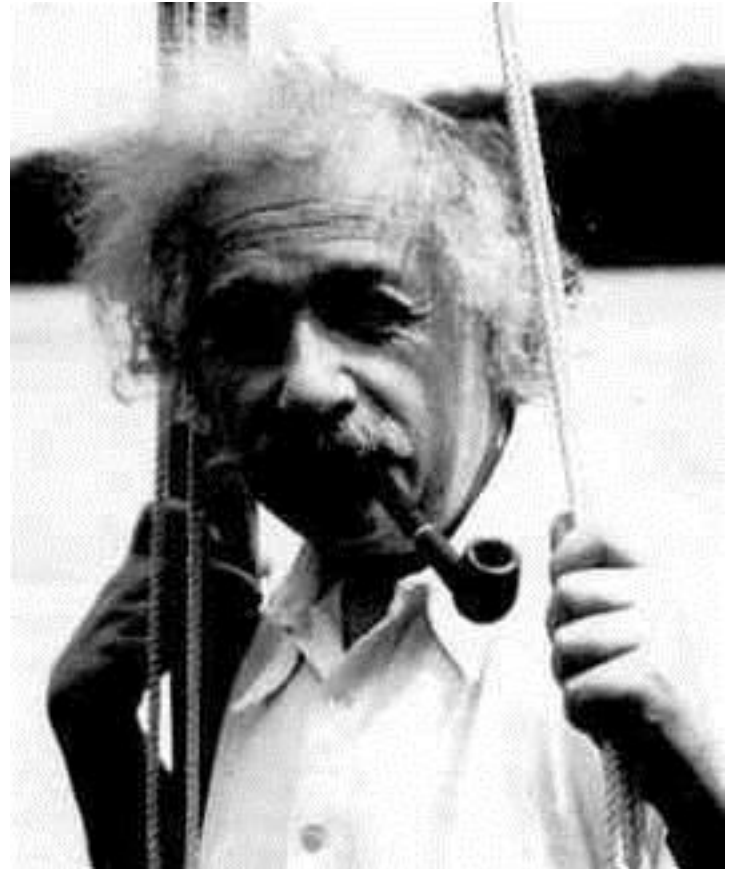
Принцип относительности и преобразования Галилея.



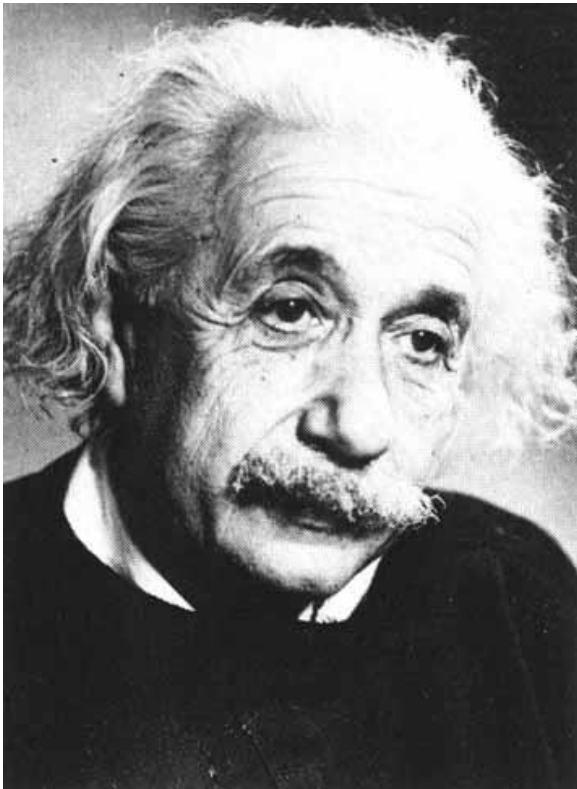
- Следствие преобразований Галилея - **закон преобразования скоростей** при переходе от одной системы отсчета к другой:
$$v_x = v'_x + v, \quad v_y = v'_y, \quad v_z = v'_z.$$
- **Ускорения** тела во всех инерциальных системах оказываются **одинаковыми**. Следовательно, **уравнение движения классической механики не меняет своего вида при переходе от одной инерциальной системы к другой**.

Постулаты СТО

- В основе специальной теории относительности лежат **два постулата** (или принципа), сформулированные Эйнштейном в 1905 г.
- Эти принципы являются обобщением всей совокупности ***опытных фактов***.



Принцип относительности Эйнштейна:



- **все законы природы инвариантны по отношению к переходу от одной инерциальной системы отсчета к другой.**

Это означает, что во всех инерциальных системах физические законы (не только механические) имеют одинаковую форму.

Принцип постоянства скорости света:

- **скорость света в вакууме не зависит от скорости движения источника света или наблюдателя и одинакова во всех инерциальных системах отсчета.**

Скорость света в СТО занимает особое положение. Это предельная скорость передачи взаимодействий и сигналов из одной точки пространства в другую.



Принцип соответствия Н.Бора

- новая теория (СТО) не отвергла старую классическую механику Ньютона, а только уточнила пределы ее применимости. Такая взаимосвязь между старой и новой, более общей теорией, включающей старую теорию как предельный случай, носит название принципа соответствия.

Опыты Майкельсона и Морли

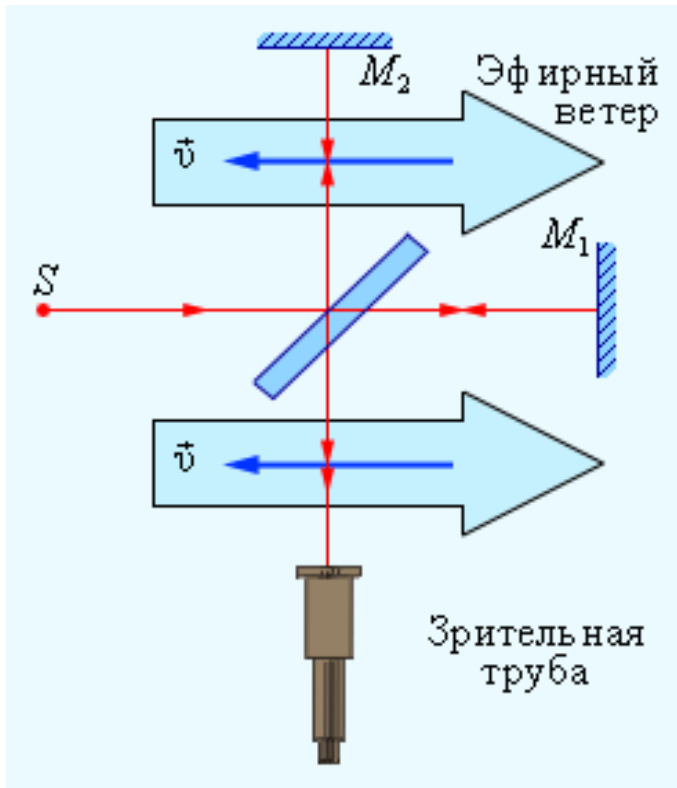


- **Майкельсон** (Michelson) Альберт (19.XII.1852–9.V.1931). Американский физик. В 1878–82 и 1924–26 провел измерения скорости света, долгое время остававшиеся непревзойденными по точности. В 1881 экспериментально доказал и совместно с Э. У. Морли (1885–87) подтвердил с большой точностью независимость скорости света от скорости движения Земли.



- **Морли** (Morley) Эдвард Уильямс (29.I.1839–1923) Американский физик. Наибольшую известность получили его работы в области интерферометрии, выполненные совместно с Майкельсоном. В химии же высшим достижением Морли было точное сравнение атомных масс элементов с массой атома водорода, за которое ученый был удостоен наград нескольких научных обществ.

Принцип опыта



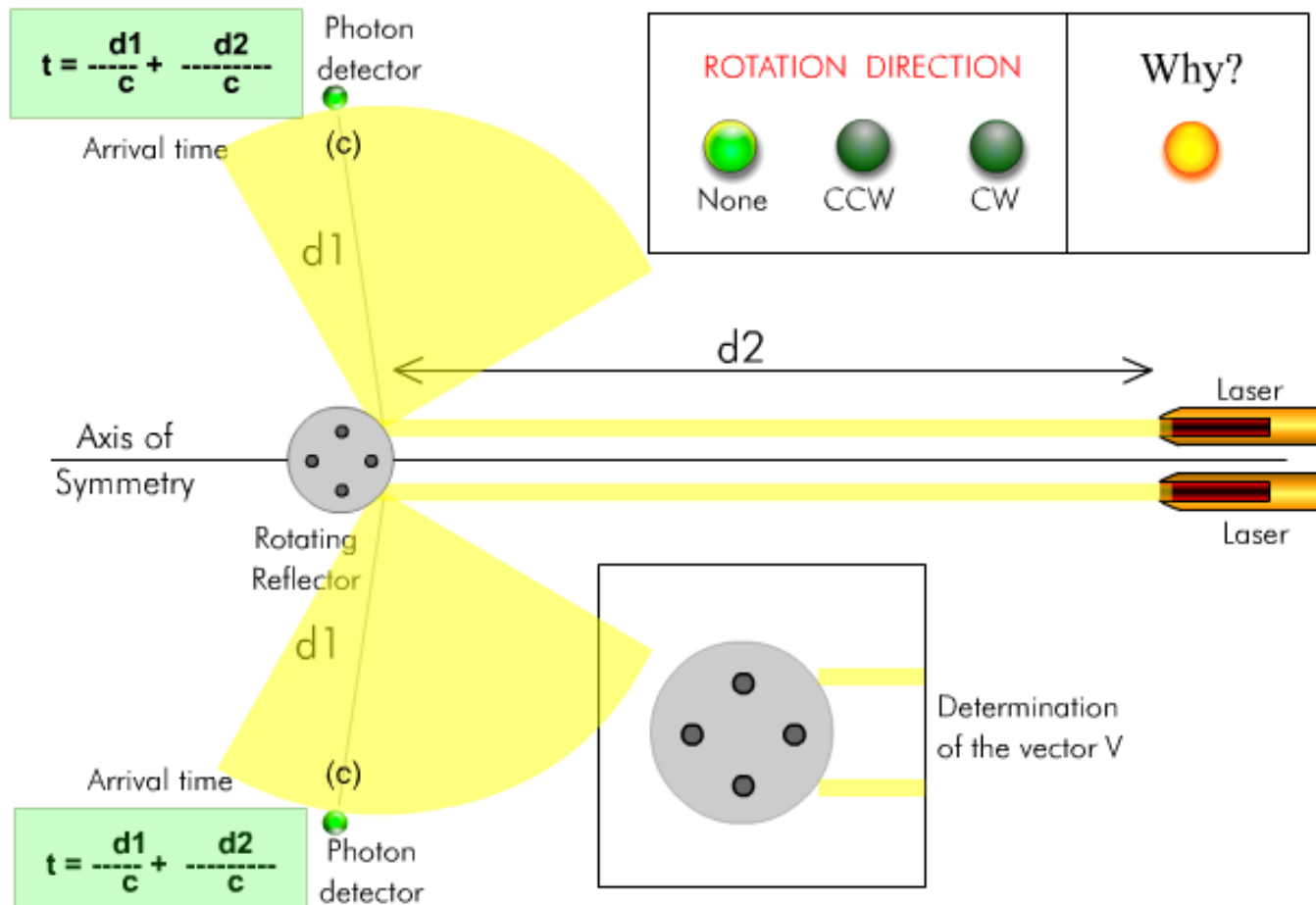
Цель опыта – измерить скорость света относительно «эфирного ветра» (параллельно и перпендикулярно движению Земли).

Упрощенная схема интерференционного опыта Майкельсона–Морли.

(v – орбитальная скорость Земли).

Идея опыта

- Наблюдение смещения интерференционных полос.



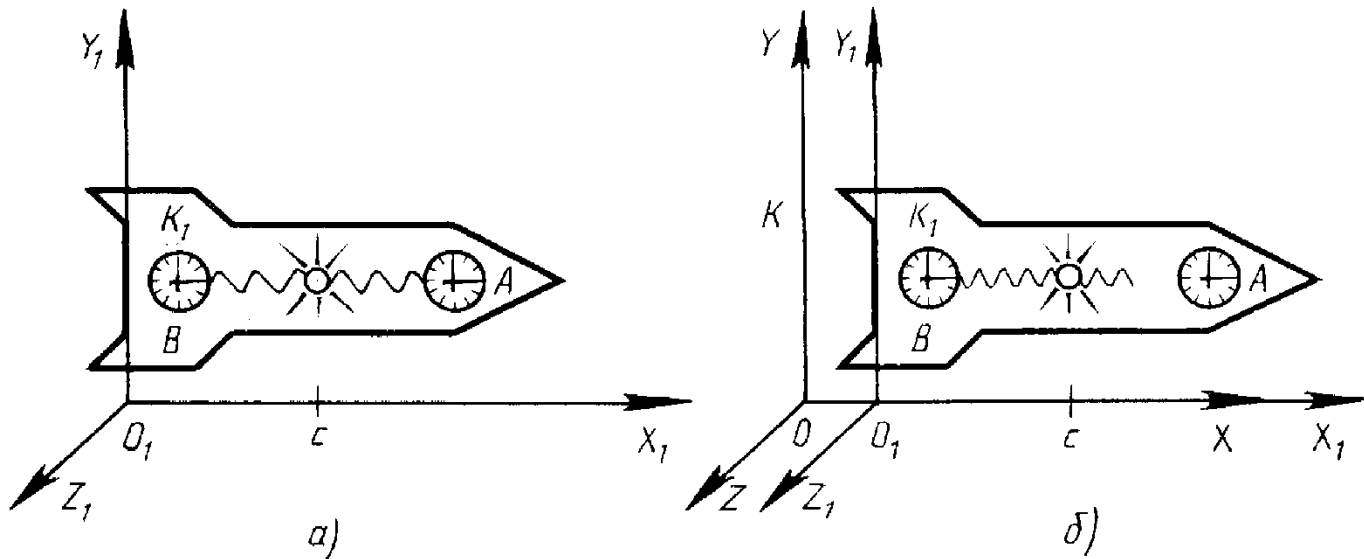
Преобразования Лоренца

- Кинематические формулы преобразования координат и времени в СТО называются **преобразованиями Лоренца**. Они были предложены в 1904 году еще до появления СТО как преобразования, относительно которых инвариантны уравнения электродинамики.
- Для случая, когда система K' движется относительно K со скоростью u вдоль оси x , преобразования Лоренца имеют вид:

$$\begin{cases} x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \\ y = y', \\ z = z', \\ t = \frac{t' + vx' / c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \end{cases} \quad \begin{cases} x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \\ y' = y, \\ z' = z, \\ t' = \frac{t - vx / c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \end{cases}$$

Относительность одновременности

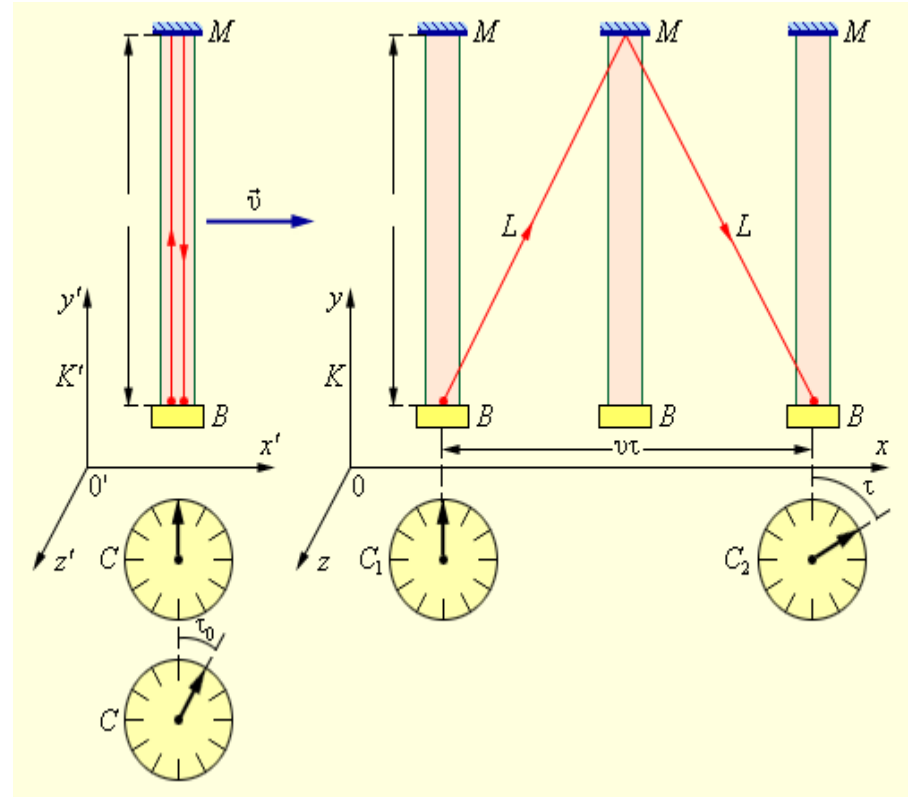
- события, являющиеся одновременными в одной ИСО, неодновременны в другой ИСО, движущейся относительно первой



Относительность промежутков времени.

- Моменты наступлений событий в системе K' фиксируются по одним и тем же часам C , а в системе K – по двум синхронизованным пространственно-разнесенным часам C_1 и C_2 . Система K' движется со скоростью v в положительном направлении оси x системы K .

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$



Пример

- если космонавты отправляются к звездной системе (и обратно), находящейся на расстоянии 500 световых лет от Земли, со скоростью $v=0,9999c$, то на это потребуется по их часам 14,1 года; в то время как на Земле пройдет 10 веков

Относительность расстояний

Измерение длины движущегося стержня

$$l = l_0 \sqrt{1 - v^2 / c^2} = l_0 \sqrt{1 - \beta^2}.$$

