

ЭЛЕМЕНТЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

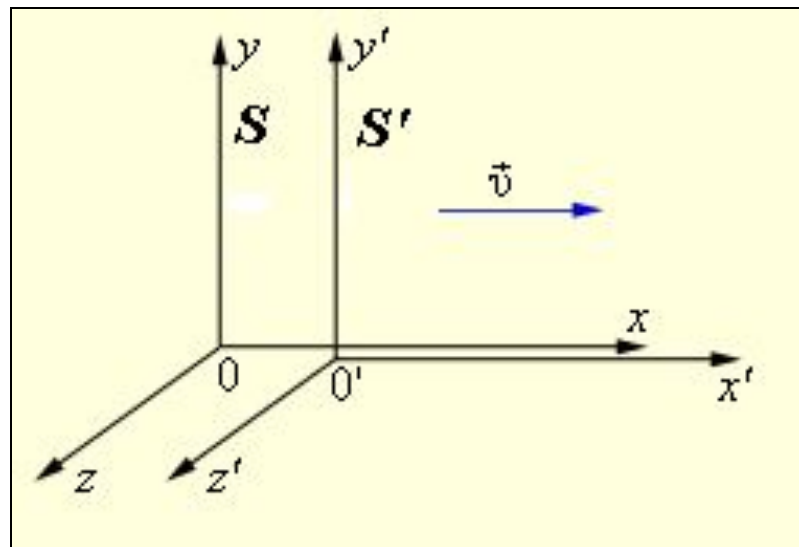
СТО часто называют релятивистской теорией, а специфические явления, описываемые этой теорией, – релятивистскими эффектами. Эти эффекты наиболее отчетливо проявляются при скоростях близких к скорости света в вакууме $c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с.

Принцип относительности Галилея

Рассмотрим две системы отсчета S и S' . Систему S будем считать условно неподвижной, а систему S' - движущейся. Движение системы S' происходит со скоростью \vec{v} вдоль оси X .

В начальный момент времени начала координат обеих систем и направления соответствующих осей совпадают.

$$t = t'$$



Найдем связь координат некоторой точки М в системах S и S'.

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{x} = \mathbf{x}' + \mathbf{v} \cdot \mathbf{t}' \\ \mathbf{y} = \mathbf{y}' \\ \mathbf{z} = \mathbf{z}' \\ \mathbf{t} = \mathbf{t}' \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{x}' = \mathbf{x} - \mathbf{v} \cdot \mathbf{t} \\ \mathbf{y}' = \mathbf{y} \\ \mathbf{z}' = \mathbf{z} \\ \mathbf{t}' = \mathbf{t} \end{array} \right.$$

Приведенные системы уравнений называются

ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГАЛИЛЕЯ.

Равномерное прямолинейное движение системы отсчета не влияет на ход механических процессов и его невозможно обнаружить механическими опытами.

Классический закон сложения скоростей:

$$\begin{cases} u_x = u'_x + v \\ u'_x = u_x - v \end{cases}$$

Скорость тела относительно неподвижной системы отсчета равна векторной сумме скорости подвижной системы отсчета относительно неподвижной и скорости тела относительно подвижной системы отсчета.

Принцип относительности Галилея:

Все механические процессы протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчета.

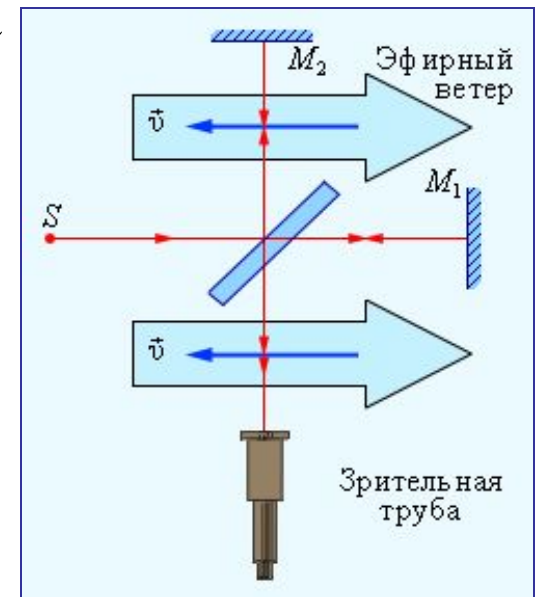
Уравнения динамики инвариантны по отношению к преобразованиям координат, соответствующему переходу от одной инерциальной системы отсчета к другой.

Понятие скорости не имеет абсолютного смысла. Физический смысл имеет лишь понятие относительной скорости одних систем отсчета относительно других.

Экспериментальные основы Специальной Теории Относительности.

К концу XIX века возникли затруднения при попытках применить механику Ньютона к объяснению распространения света. Предположение о том, что свет распространяется в особой среде – эфире, было опровергнуто многочисленными экспериментами. А. Майкельсон в 1881 году, а затем в 1887 году совместно с Э. Морли (оба – американские физики) пытался обнаружить движение Земли относительно эфира («эфирный ветер») с помощью опыта.

В этом опыте одно из плеч интерферометра Майкельсона устанавливалось параллельно направлению орбитальной скорости Земли ($v = 30$ км/с). Затем прибор поворачивался на 90° , и второе плечо оказывалось ориентированным по направлению орбитальной скорости. Расчеты показывали, что если бы неподвижный эфир существовал, то при повороте прибора интерференционные полосы должны были сместиться. Опыт Майкельсона–Морли дал отрицательный результат. Анализ результатов опыта Майкельсона–Морли и ряда других экспериментов позволил сделать вывод о том, что представления об эфире как среде, в которой распространяются световые волны, ошибочно. Следовательно, для света не существует избранной (абсолютной) системы отсчета. Движение Земли по орбите не оказывает влияния на оптические явления на Земле.



Постулаты Эйнштейна. Преобразования Лоренца.

На рубеже XIX и XX веков физика переживала глубокий кризис. Выход был найден Эйнштейном ценой отказа от классических представлений о пространстве и времени. Наиболее важным шагом на этом пути явился пересмотр используемого в классической физике понятия абсолютного времени и абсолютного пространства. Многие понятия и величины, которые в физике Ньютона считались абсолютными, т. е. не зависящими от системы отсчета, в эйнштейновской теории относительности переведены в разряд относительных.

В основе специальной теории относительности лежат два принципа или постулата, сформулированные Эйнштейном в 1905 г.:

Первый постулат Эйнштейна: все физические явления протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчета.

(Никакими физическими опытами, производимыми внутри инерциальной системы отсчета, невозможно установить, покоится эта система или движется прямолинейно и равномерно).

Второй постулат Эйнштейна: скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчета и не зависит от движения источников и приемников света.

Для перехода от одной системы отсчета в другую в специальной теории относительности используются преобразования Лоренца:

$$\left\{ \begin{array}{l} x' = \frac{x - v \cdot t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \frac{t - \frac{v}{c^2} \cdot x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} x = \frac{x' + v \cdot t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ y = y' \\ z = z' \\ t = \frac{t' + \frac{v}{c^2} \cdot x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{array} \right.$$

Здесь $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме.

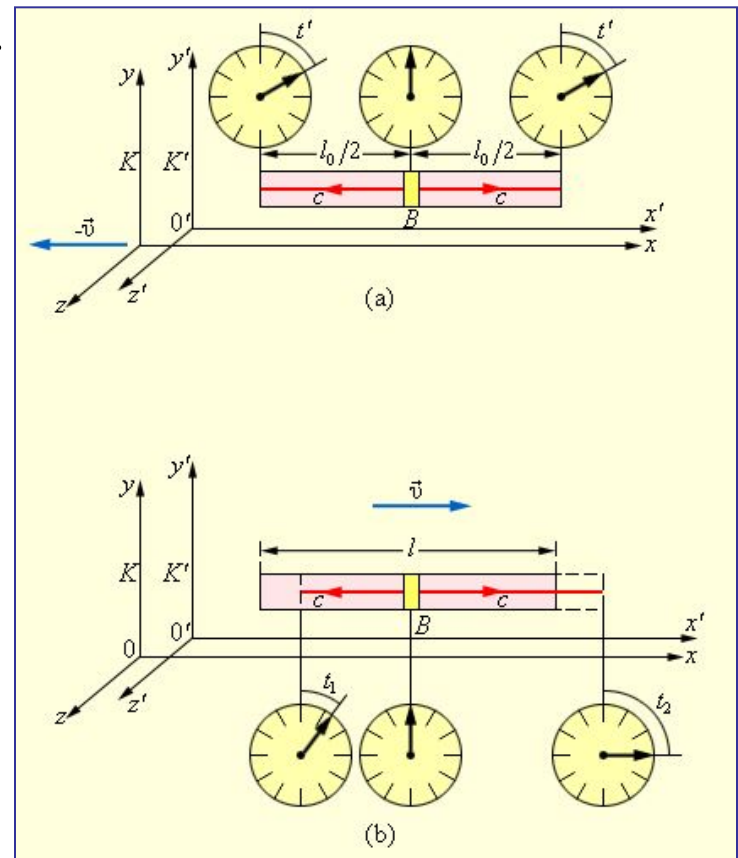
При $V \ll c$ преобразования Лоренца переходят, как того требует принцип соответствия, в преобразования Галилея.

Из преобразований Лоренца следует, что понятие времени неотделимо от понятия пространства.

Следствия из преобразований Лоренца.

1. Относительность одновременности:

Два события одновременные в одной системе отсчета, могут быть неодновременными в другой системе.



Световой импульс достигает концов твердого стержня одновременно в системе отсчета K' (a) и не одновременно в системе отсчета K (b).

2. Относительность промежутков времени между событиями:

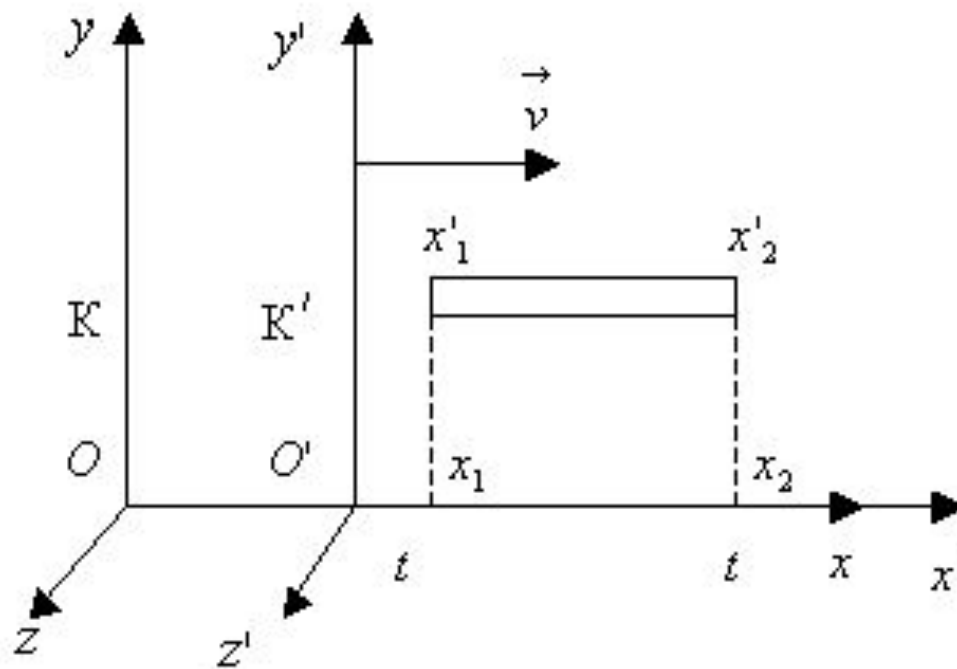
Промежуток времени между событиями – величина относительная и зависит от выбора системы отсчета.

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

где $\Delta t'$ - промежуток времени между событиями, произошедшими в системе отсчета K' (отсчитывается по часам, находящимся в системе K'); Δt – промежуток времени между этими событиями, отсчитанный по часам, находящимся в системе K .

3. Изменение размеров движущихся тел:

Продольный размер тела – величина относительная и зависит от выбора системы отсчета.



$$l' = \frac{l}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

где l' – длина стержня, расположенного вдоль оси x и покоящегося в системе K' (отсчитывается в системе отсчета K'); l – длина этого же стержня, измеренная в системе отсчета K .

Длина стержня, измеренная в системе отсчета, относительно которой он покоится, называется собственной длиной.

$$l' = l_0$$

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$$

При движении тел изменяются только продольные размеры; размеры перпендикулярные к направлению движения, остаются неизменными.

Лоренцево сокращение – эффект чисто кинематический: никакими внутренними напряжениями в телах это сокращение не сопровождается. Лоренцево сокращение нельзя ни увидеть, ни сфотографировать. Увидеть – это значит получить световые сигналы, идущие от разных точек тела. Вследствие того, что разные точки тела удалены от наблюдателя не одинаково, а скорость света конечна, на сетчатку глаза попадают одновременно световые импульсы, испущенные не одновременно. Это приводит к такому искажению изображения, которое полностью компенсирует Лоренцево сокращение.

4. Релятивистский закон сложения скоростей:

Пусть некоторое тело движется вдоль оси x' в системе отсчета K' со скоростью \vec{u}' относительно последней. Проекция \vec{u} скорости этого тела в системе отсчета K на ось x этой системы равна:

$$u_x = \frac{u'_x + V}{1 + \frac{V \cdot u'_x}{c^2}}.$$

Пространственно–временной интервал

В теории относительности рассматривается связь пространства и времени, которая выражается в четырехмерном пространстве-времени. Точки этого пространства характеризуются 4 числами (x, y, z, t) и называются событиями. Событие изображается точкой, которая называется мировой точкой. Всякому телу (даже неподвижному) соответствует некоторая линия (мировая линия).

Пусть одно событие имеет координаты x_1 y_1 z_1 t_1 , а другое x_2 y_2 z_2 t_2 . Величину ΔS называют интервалом между этими событиями:

$$\Delta S = \sqrt{c^2(t_2 - t_1)^2 - (x_2 - x_1)^2 - (y_2 - y_1)^2 - (z_2 - z_1)^2}$$

$L = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$ – расстояние между точками
обычного трехмерного
пространства

$$\Delta S = \sqrt{c^2 \cdot \Delta t^2 - L^2}$$

Интервал является инвариантной величиной по отношению к переходу от одной инерциальной системы отсчета к другой.

1. Если первое событие – отправка светового сигнала из точки (x_1, y_1, z_1) в момент времени t_1 , а второе – прием этого сигнала в точке (x_2, y_2, z_2) в момент времени t_2 , то $L = c \cdot \Delta t$ и $\Delta S = 0$.
2. Если $L > c \cdot \Delta t$, то события не связаны друг с другом. Интервал ΔS в этом случае является мнимым и называется пространственно-подобным. События, разделенные таким интервалом, называются абсолютно удаленными. Эти события не могут быть пространственно совмещены ни в одной системе отсчета, но можно найти систему отсчета, где они происходят одновременно.
3. Если $L < c \cdot \Delta t$, то события могут быть связаны друг с другом. Интервал ΔS в этом случае называется времениподобным. События, разделенные таким интервалом, не могут произойти одновременно ни в одной системе отсчета, но можно найти систему отсчета, где они происходят в одной и той же точке.

Релятивистские масса и импульс. Взаимосвязь массы и энергии.

Эйнштейн показал, что масса тела зависит от его скорости:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

где m_0 – масса тела в той системе отсчета, где тело покоится (масса покоя); m – масса тела в той системе, относительно которой тело движется (релятивистская масса); v – скорость тела относительно системы отсчета, в которой определяется масса m .

Релятивистский импульс:

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

где m – релятивистская масса.

Закон взаимосвязи массы и энергии. Полная энергия материального объекта равна произведению его релятивистской массы на квадрат скорости света в вакууме:

$$E = mc^2,$$

где m – релятивистская масса; E – полная энергия материального объекта.

Кинетическая энергия объекта:

$$E_k = E - E_0,$$

где $E = mc^2$ - полная энергия; $E_0 = m_0c^2$ - энергия покоя.

В полную энергию и энергию покоя не входит потенциальная энергия, которой обладает тело во внешнем потенциальном поле.

Из закона взаимосвязи массы и энергии следует, что всякое изменение массы тела на Δm сопровождается изменением его энергии на ΔE :

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2.$$