9.1 Недостатки механики Ньютона-Галилея

1) В механике Ньютона предполагается, что взаимодействие распространяется мгновенно.

Опыт, однако, показывает, что мгновенных взаимодействий в природе не существует. Взаимодействие между телами не может распространяться со скоростью большей скорости света в вакууме.

2) Механика Ньютона справедлива для описания движения тел, имеющих скорости *много меньшие* скорости света. Для быстрых частиц ее результаты не согласуются с экспериментом.

3) В механике Ньютона координаты точки меняются при переходе к новой инерциальной системе отсчета, тогда как *время считается абсолютным, одним и тем же во всех инерциальных системах*. Поэтому, если какие-то два события являются одновременными для одного наблюдателя, то они должны быть одновременными и для любого другого наблюдателя.

То есть понятие *одновременности абсолютно* в механике Ньютона.

Однако, *конечность распространения сигналов приводит к относительности понятия одновременности*.

9.2 Постулаты специальной теории относительности

В 1905 г. Эйнштейн создал релятивистскую механику (специальную теорию относительности), которая описывает движение тел с любыми скоростями. В основе теории Эйнштейна лежат два, подтверждающихся опытом постулата:

1) Принцип относительности – *все законы природы одинаковы во всех инерциальных системах.*

Этот принцип расширяет механический принцип относительности Галилея на все физические явления.

Он означает, что уравнения, выражающие законы природы, должны иметь одинаковый вид во всех инерциальных системах отсчета.

2) Принцип постоянства скорости света – *скорость света в вакууме не зависит от движения источников света или наблюдателя и одинакова во всех инерциальных системах.*

Ее численное значение равно $c \approx 299800$ км/с $\approx 3 \cdot 10^8$ м/с

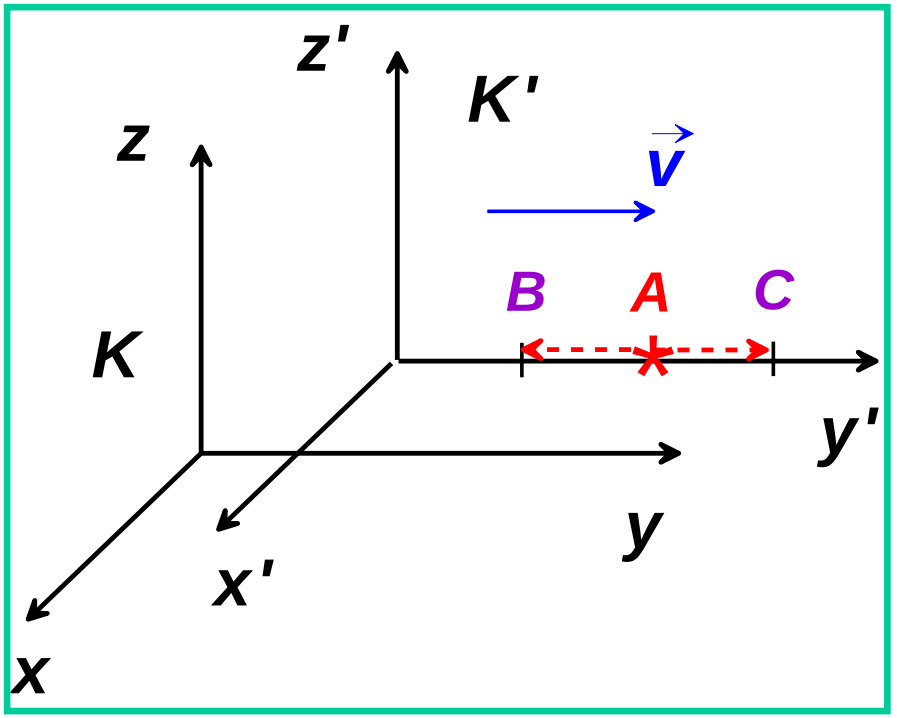
Большой величиной скорости света объясняется то, что на практике обычно достаточно точной оказывается механика Ньютона.

Из принципа относительности следует, что *скорость света является скоростью распространения всех основных взаимодействий* - электромагнитного, гравитационного, сильного и слабого.

***В природе невозможно движение тел и передача сигналов со скоростью большей скорости распространения света в вакууме*.**

9.3 Относительность одновременности событий

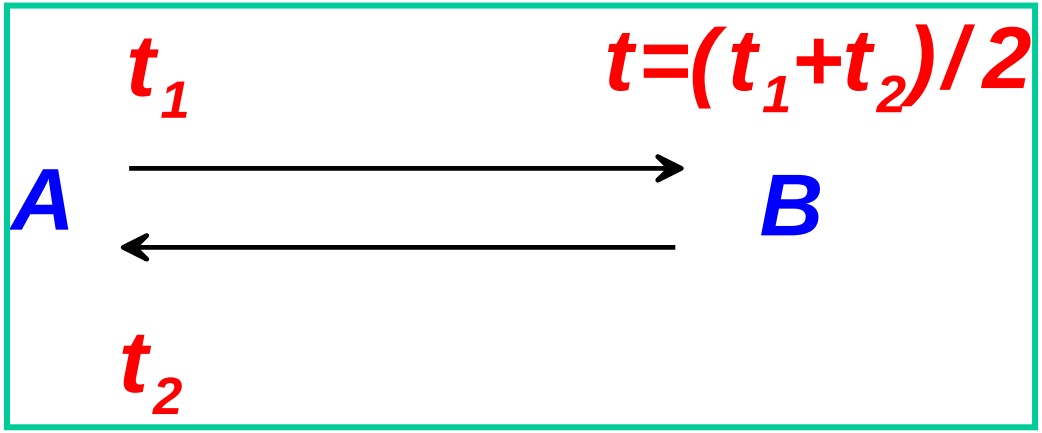
Покажем, что принцип постоянства скорости света и конечность ее значения приводят к относительности понятия одновременности. Пусть из точки *A* на оси *y′* одновременно отправляются световые сигналы в направлении точек *B* и *C*, равноудаленных от точки *A*. Сигналы достигнут точек *B* и *C* в один и тот же момент времени. Однако, эти же два события не будут одновременными для наблюдателя в системе *K*(в ней точка *B* движется навстречу свету, а точка *C* удаляется от него. Поэтому свет раньше достигнет точку *B*, значит *время в разных системах течет по разному*.



9.4 Синхронизация часов

Время определяется с помощью часов, роль которых может выполнять *любой периодический процесс*.

Ход часов в разных точках необходимо синхронизировать. Для сверки часов используем световой сигнал. Пусть имеются две точки *A* и *B*. В момент времени t_1 , отсчитанный по часам в точке *A*, в сторону точки *B* пошлем световой сигнал. Этот сигнал, достигнув точку *B* отражается от зеркала и возвращается в точку *A* в момент времени t_2.



Часы в точках A и B считаются синхронными, если в момент прихода света в точку B часы в B показывали время, равное

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

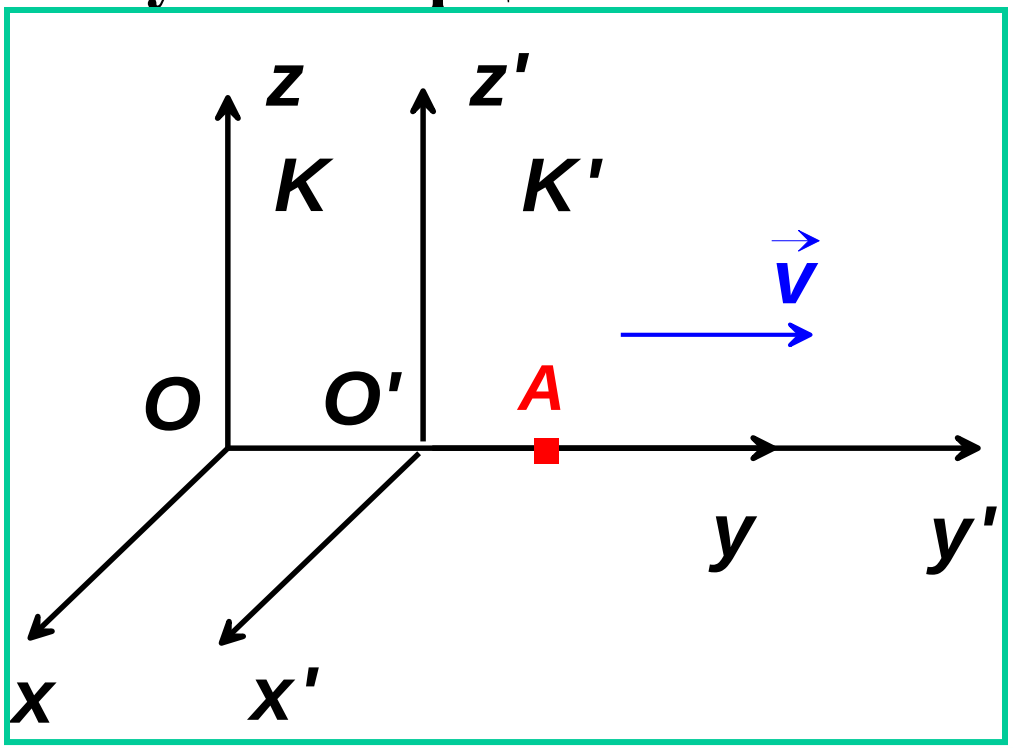
Определение

События в точках A и B считаются *одновременными*, если показания синхронизированных часов в точках A и B совпадают.

9.5 Преобразования Лоренца

Преобразования Галилея между координатами разных инерциальных систем приводят к зависимости скорости света от скорости движения инерциальных систем, что противоречит опыту. Поэтому они должны быть изменены. Найдем новые преобразования.

Пусть инерциальная система К′ движется относительно другой инерциальной системы К со скоростью $\vec{V}$ вдоль оси *y*. Рассмотрим некоторую точку *A* на этой оси. Ее координаты вдоль осей X и Z в двух системах совпадают $x = x'$; $z = z'$



Получим формулы, связывающие $(y,\ t)$ с $(y',\ t')$. Вследствие *однородности и изотропности пространства и однородности времени* эта связь должна быть линейной, то есть

$$y = \alpha_1 y' + \alpha_2 t' + \alpha_3 \qquad (9.5.1)$$

где $\alpha_1,\ \alpha_2,\ \alpha_3$ - некоторые константы, которые надо найти. Формула $(9.5.1)$ справедлива для любой точки на оси y. Применим ее к началам координат двух систем O и O'.

Пусть в начальный момент времени $t = t' = 0$ положения точек O и O' совпадали

$$y(t = 0) = y'(t' = 0) = 0$$

Чтобы это выполнялось необходимо положить $\alpha_3 = 0$.

В последующие времена начало координат O в системе K будет иметь прежнее значение $y = 0$.

В системе же K′ положение точки O меняется и ее координата будет равна $y' = -Vt'$, что можно переписать как $y' + Vt' = 0$.

Это значит, что $y'+Vt'$ обращается в ноль вместе с y, поэтому они должны быть пропорциональными друг другу, что требует равенства коэффициентов

$$\alpha_1 = \alpha_2 /V = \alpha$$

Следовательно $y = \alpha(y' + Vt')$ **(9.5.2)**

Аналогично, с течением времени начало координат O' в системе K' будет иметь неизменную координату $y' = 0$, а в системе K - меняющуюся координату $y = Vt$.

Это снова означает, что y' и $(y - Vt)$ обращаются в нуль вместе, а значит пропорциональны друг другу

$$y' = \gamma(y - Vt) \qquad (9.5.3)$$

В силу *равноправности* систем K и K' коэффициенты α и γ должны совпадать $\alpha = \gamma$.

Полученные связи координат *(9.5.2)* и *(9.5.3)* должны выполняться *для любой точки на осях* y и y'.

Для нахождения коэффициента α используем *принцип постоянства скорости света*.

Пусть в начальный момент времени $t = t' = 0$ из начала координат вдоль осей y и y' был послан световой сигнал. Этот сигнал достигнет точку **А** в системе **К** в некоторый момент времени t, поэтому ее координату можно записать как $y = ct$.

В системе **К′** этот же сигнал движется с той же скоростью c и достигнет точку **А** в момент времени t', поэтому ее координата в системе **К′** равна $y' = ct'$.

Следовательно, для точки **А** должны выполняться соотношения

$$y = \alpha(y' + V t') \quad ; \quad y = ct \qquad (9.5.4)$$
$$y' = \alpha(y - Vt) \quad ; \quad y' = ct'$$

Решим их относительно α . Подставим последние два выражения в первые два, получим

$$ct = \alpha(y' + V t') = \alpha(ct' + V t') = \alpha(c + V)\, t'$$
$$ct' = \alpha(y - Vt) = \alpha(ct - Vt) = \alpha(c - V)t$$

Таким образом

$$ct = \alpha(c + V)\, t' = \alpha(c + V)\alpha(c - V)t/c = \alpha^2(c^2 - V^2)t/c$$

значит

$$\alpha^2 = \frac{c^2}{c^2 - V^2} \quad \rightarrow \quad \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}}$$

Поэтому

$$y = \frac{y' + Vt'}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}} \qquad (9.5.5a)$$

Выразим теперь время t **через** y' **и** t'**. Для этого подставим** y **во второе уравнение системы** *(9.5.4)*

$$y' = \alpha[\alpha(y' + Vt') - Vt] \quad \rightarrow \quad t = \alpha[t' + \frac{(\alpha^2 - 1)y'}{\alpha V}]$$

$$t = \frac{t' + \frac{Vy'}{c^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}} \qquad (9.5.5b)$$

Формулы *(9.5.5)* **-** ***преобразования Лоренца*** **(1904).**

В преобразованиях Лоренца координаты и время одной системы зависят от координат и времени другой системы. В этом проявляется *взаимосвязь пространства и времени*.

***Обратные формулы*, выражающие x', y', z', t' через x, y, z, t получаются из (9.5.5) заменой штрихованных переменных на нештрихованные и заменой $V \to -V$, поскольку система К движется относительно К′ со скоростью $-V$:**

$$y' = \frac{y - Vt}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}} \qquad t' = \frac{t - \frac{Vy}{c^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}} \qquad (9.5.6)$$

В пределе $c \to \infty$ преобразования Лоренца переходят в нерелятивистские преобразования Галилея.

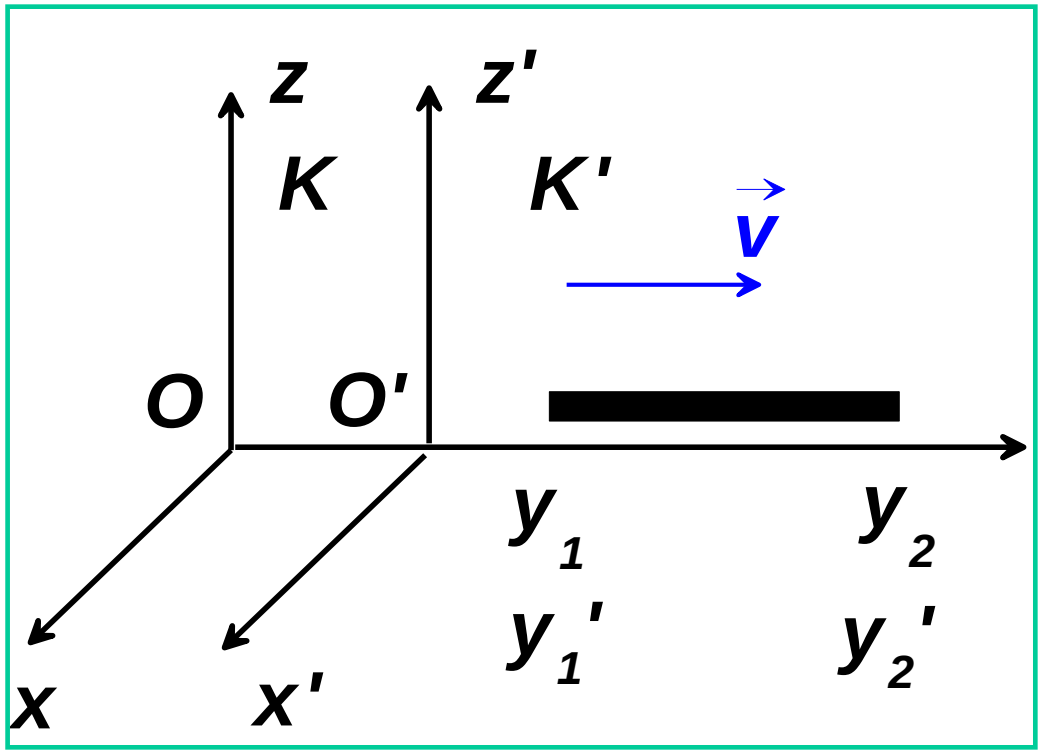
9.6 Следствия преобразований Лоренца

1) Длина тел в разных системах. Лоренцево сокращение

Пусть в системе отсчета K' покоится стержень, параллельный оси y и имеющий длину $\Delta y' = y_2' - y_1'$, где y_2' и y_1' - координаты концов стержня. Система K' движется относительно системы K со скоростью $\vec{V}$ вдоль оси y. Длина стержня в системе K равна

$$\Delta y = y_2 - y_1$$

где y_2 и y_1 - координаты концов стержня в момент времени t.



Найдем связь длин стержня в двух системах. Для этого используем преобразования *Лоренца* (9.5.6)

$$y_1' = \frac{y_1 - Vt}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}} \qquad y_2' = \frac{y_2 - Vt}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}}$$

Вычитая y_1' из y_2', находим

$$\Delta y' = y_2' - y_1' = \frac{y_2 - y_1}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}} = \frac{\Delta y}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}}$$

Определение ***Собственной длиной*** **стержня называется его длина в той системе отсчета, в которой он *покоится*.**

Обозначим ее через $l_0 = \Delta y'$**, а длину того же стержня в системе отсчета** K **- как** $l = \Delta y$**, получим**

$$l = l_0\sqrt{1-\left(\frac{V}{c}\right)^2} \qquad l \le l_0 \qquad (9.6.1)$$

Следовательно, ***самую большую длину стержень имеет в той системе отсчета, в которой он покоится.*** **Его длина в системе, в которой он движется со скоростью** V**, уменьшается в число раз, равное**

$$\sqrt{1-\left(\frac{V}{c}\right)^2}$$

Этот результат называется *лоренцевым сокращением*. В направлениях осей x, z **размеры стержня *не меняются*.**

2) Промежуток времени между событиями

Пусть в системе отсчета K' в некоторой точке с координатами x', y', z' происходят два события в моменты времени t_1' и t_2'.

В системе отсчета K этим событиям соответствуют моменты времени t_1 и t_2, которые находятся из преобразований *Лоренца* для времени *(9.5.5b)*

$$t_1 = \frac{t_1' + \frac{Vy'}{c^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}} \qquad t_2 = \frac{t_2' + \frac{Vy'}{c^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}}$$

Поэтому промежутки времени между двумя событиями в системах отсчета K' и K связаны соотношением

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{t_2' - t_1'}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}} = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}}$$

где V - скорость, с которой система K' движется относительно неподвижной системы K.

Пусть оба события происходят с телом, которое покоится в системе K'.

Тогда $\Delta t'$ – есть промежуток времени, измеренный по часам, неподвижным относительно тела, то есть движущимся вместе с телом.

Время, отсчитанное по часам, движущимся вместе с телом, называется *собственным временем* Δt_0.

В нашем случае $\Delta t_0 = \Delta t'$, поэтому

$$\Delta t_0 = \Delta t \sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2} \quad ; \quad \Delta t_0 \leq \Delta t \qquad (9.6.2)$$

Формула (9.6.2) показывает, что

собственное время движущегося объекта всегда меньше времени в неподвижной системе,

значит, движущиеся часы идут медленнее покоящихся.

Замедление физических процессов в движущихся системах находит экспериментальное подтверждение, например, в процессе распада мюонов.

Мюон – элементарная частица, образующаяся в космическом излучении на высоте **300 км** над поверхностью **Земли**. **Мюон** ***нестабилен*** – в состоянии покоя он за время $\Delta t_0 = 2 \cdot 10^{-6}$ **сек** самопроизвольно распадается на электрон (или позитрон) и два нейтрино. За это время он, даже если бы двигался со скоростью света, прошел бы всего **600 м**. Однако, мюоны в большом количестве обнаруживаются на поверхности **Земли**.

Это объясняется тем, что 1) скорость движения мюонов близка к скорости света, 2) время жизни мюона Δt, отсчитанное по часам наблюдателя (лабораторная система), движущимся относительно мюона, гораздо больше собственного времени Δt_0, поэтому наблюдатель обнаруживает пробег много больший **600 м.**

3) Одновременность в разных системах

Пусть в системе K в точках с координатами y_1 и y_2 происходят два события в один и тот же момент времени $t = t_1 = t_2$. В системе K' этим же событиям отвечают моменты

$$t_1' = \frac{t - \frac{Vy_1}{c^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}} \qquad t_2' = \frac{t - \frac{Vy_2}{c^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}}$$

Их разность равна

$$t_2' - t_1' = \frac{V(y_1 - y_2)}{c^2\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}} \qquad (9.6.3)$$

Из (9.6.3) следует, что $t_2' \neq t_1'$

события одновременные в системе K ***перестают быть одновременными в другой системе*** K'**.**

В зависимости от направления движения системы K' **(знака скорости** V **) разность времен** $t_2' - t_1'$ **может быть либо положительной, либо отрицательной.**

Поэтому событие 1 **может либо предшествовать событию** 2**, либо следовать за ним.**

4) Релятивистский закон сложения скоростей

Получим формулу, связывающую скорости движущейся материальной точки в двух инерциальных системах отсчета.

Пусть как и раньше система K' движется относительно системы K с *постоянной* скоростью V в положительном направлении вдоль оси y. Используем преобразования Лоренца для координат и времени (9.5.5)

$$x = x' \qquad z = z' \qquad y = \frac{y' + Vt'}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}} \qquad t = \frac{t' + \frac{Vy'}{c^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}}$$

Найдем дифференциалы переменных

$$dx = dx' \qquad dz = dz'$$

$$dy = \frac{dy' + Vdt'}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}} \qquad dt = \frac{dt' + \frac{Vdy'}{c^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}}$$

Разделив дифференциалы координат dx, dy, dz на дифференциал времени dt, получим проекции скоростей частицы

$$\upsilon_x = \frac{dx}{dt} = \frac{dx'\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}}{dt' + \frac{Vdy'}{c^2}} = \frac{\upsilon'_{x'}\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}}{1 + \frac{V}{c^2}\upsilon'_{y'}}$$

$$\upsilon_y = \frac{dy}{dt} = \frac{dy' + Vdt'}{dt' + \dfrac{Vdy'}{c^2}} = \frac{\dfrac{dy'}{dt'} + V}{1 + \dfrac{V}{c^2}\dfrac{dy'}{dt'}} = \frac{\upsilon'_{y'} + V}{1 + \dfrac{V}{c^2}\upsilon'_{y'}}$$

$$\upsilon_z = \frac{dz}{dt} = \frac{dz'\sqrt{1 - \left(\dfrac{V}{c}\right)^2}}{dt' + \dfrac{Vdy'}{c^2}} = \frac{\upsilon'_{z'}\sqrt{1 - \left(\dfrac{V}{c}\right)^2}}{1 + \dfrac{V}{c^2}\upsilon'_{y'}} \qquad (9.6.4)$$

Эти формулы осуществляют преобразование проекций скоростей частицы при переходе от системы *K* к системе *K'* - они выражают *релятивистский закон сложения скоростей*. Обратные преобразования получаются заменой штрихованных переменных на нештрихованные и $V \rightarrow -V$.

9.7 Интервал между событиями

Событие, произошедшее с частицей, определяется ее тремя координатами *x*, *y*, *z* и моментом времени *t*.

Поэтому событие можно изобразить точкой в 4-х мерном пространстве, на осях которого отложены 3 пространственные координаты и время.

Эта точка называется мировой точкой. С течением времени она описывает в 4-х мерном пространстве некоторую линию, которая называется мировой линией. Точки этой линии определяют координаты частицы во все моменты времени.

Свойства 4-х мерного пространства-времени отличаются от свойств обычного 3-х мерного пространства. В 3-х мерном пространстве квадрат расстояния между двумя точками равен

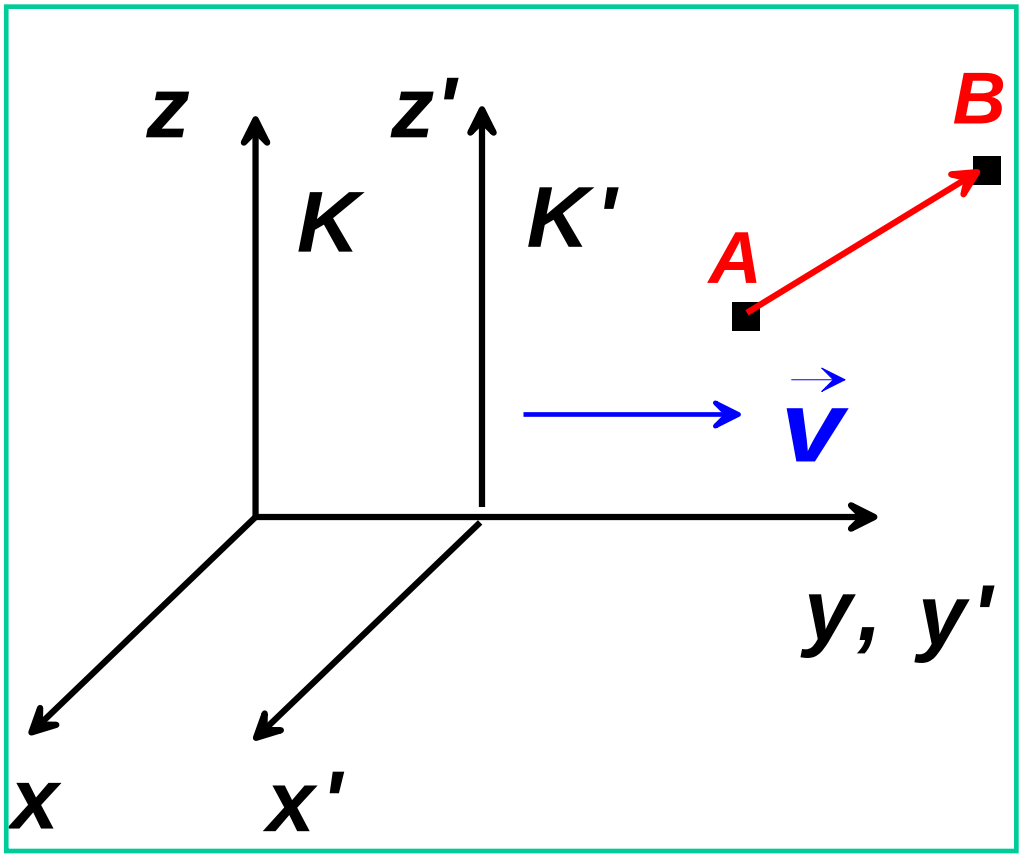
$$\Delta l^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2$$

Такое пространство обладает евклидовой метрикой.

При переходе к другой инерциальной системе, движущейся относительно первоначальной со скоростью много меньшей скорости света, расстояние между точками почти не меняется.

Однако, при скоростях, близких к скорости света, длины тел и расстояние Δl в разных системах отсчета разные. Найдем величину, являющуюся аналогом Δl , и сохраняющую свое значение в релятивистском случае.

Пусть в системе отсчета K световой сигнал отправляется из точки A (x_1, y_1, z_1) в момент времени t_1. Назовем это *первым событием*. В некоторый момент времени t_2 этот сигнал придет в точку B (x_2, y_2, z_2). Назовем это *вторым событием*.



Пройденное светом расстояние можно записать как $c(t_2 - t_1)$ **или как**

$$\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

Приравнивая квадраты двух выражений, получаем

$$(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2 - c^2(t_2 - t_1)^2 = 0 \qquad (9.7.1)$$

Обозначим

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

Эта величина называется *интервалом* между двумя событиями в точках A **и** B**.**

Аналогичные преобразования в системе K' приводят к выражению, подобному *(9.7.1)*

$$\left(x'_2 - x'_1\right)^2 + \left(y'_2 - y'_1\right)^2 + \left(z'_2 - z'_1\right)^2 - c^2(t'_2 - t'_1)^2 = 0$$

(9.7.2)

и интервалу между теми же событиями

$$s' = \sqrt{c^2(t'_2 - t'_1)^2 - \left(x'_2 - x'_1\right)^2 - \left(y'_2 - y'_1\right)^2 - \left(z'_2 - z'_1\right)^2}$$

Из *(9.7.1)- (9.7.2)* **следует** $s = s' = 0$

Значит, ***если интервал между двумя событиями равен нулю в одной инерциальной системе отсчета, то он равен нулю и в любой другой инерциальной системе.***

Покажем, что интервалы в двух системах одинаковы и в том случае, когда они не равны нулю. Согласно преобразованиям Лоренца *(9.5.6)*

$$\Delta x' = \Delta x \qquad \Delta z' = \Delta z \qquad \Delta y' = \frac{\Delta y - V\Delta t}{\sqrt{1-\left(\frac{V}{c}\right)^2}} \qquad \Delta t' = \frac{\Delta t - \frac{V\Delta y}{c^2}}{\sqrt{1-\left(\frac{V}{c}\right)^2}}$$

Подставим их в квадрат интервала

$$\Delta s'^2 = c^2\Delta t'^2 - \Delta x'^2 - \Delta y'^2 - \Delta z'^2 =$$

$$= c^2 \frac{(\Delta t - \frac{V\Delta y}{c^2})^2}{1-\frac{V^2}{c^2}} - \Delta x'^2 - \frac{(\Delta y - V\Delta t)^2}{1-\frac{V^2}{c^2}} - \Delta z'^2 =$$

$$= c^2\Delta t^2 - \Delta x^2 - \Delta y^2 - \Delta z^2 = \Delta s^2$$

Итак, получили $\Delta s = \Delta s'$

интервал между двумя событиями одинаков во всех инерциальных системах отсчета, несмотря на отличия длин и промежутков времени в этих системах

Инвариатность интервала является следствием постоянства скорости света в вакууме.

Интервал Δs **можно рассматривать как** ***"расстояние"*** **между двумя точками в 4-х мерном пространстве.**

Однако, в отличие от 3-х мерного квадрата длины $(\Delta l)^2$**, в квадрат интервала** $(\Delta s)^2$ **квадраты разностей координат входят со знаком минус (а не плюс), со знаком плюс входит квадрат разности времен.**

Такую 4-х мерную геометрию называют псевдоевклидовой, она была введена Минковским.

Из вида квадрата интервала

$$\Delta s^2 = c^2\Delta t^2 - \Delta x^2 - \Delta y^2 - \Delta z^2 = c^2\Delta t^2 - \Delta l^2$$

следует, что он может быть положительным, отрицательным или равным нулю, в зависимости от соотношения интервалов времени Δt **и длины** Δl**.**

Соответственно, сам интервал может быть либо вещественным, либо мнимым, либо равным нулю.

Рассмотрим эти случаи.

1) Для вещественного интервала

$$\Delta s^2 = c^2 \Delta t^2 - \Delta l^2 > 0$$

Поэтому существует система отсчета K, в которой $\Delta l = 0$. Это значит, что два события в такой системе K происходят в одних и тех же точках пространства.

Однако, при этом не существует системы, в которой $\Delta t = 0$, иначе интервал стал бы мнимым.

Поэтому *события, разделенные вещественным интервалом не могут быть одновременными*.

В связи с этим, вещественные интервалы называют времени-подобными.

2) Для мнимого интервала

$$\Delta s^2 = c^2 \Delta t^2 - \Delta l^2 < 0$$

Поэтому существует система отсчета K, в которой $\Delta t = 0$, то есть события в ней происходят одновременно.

Однако, не существует системы, в которой $\Delta l = 0$, иначе интервал стал бы вещественным.

Значит, *события, разделенные мнимым интервалом не могут происходить в одной и той же точке пространства*.

Поэтому мнимые интервалы называют пространственно-подобными.

***Свойство интервала быть времени-подобным или пространственно-подобным не зависит от системы отсчета и является абсолютным*.**

Для пространственно-подобных интервалов $c\Delta t < \Delta l$ **.**

Следовательно, расстояние между точками Δl **, в которых происходят события, больше чем** $c\Delta t$ **.**

Поскольку не существует воздействий, распространяющихся со скоростью большей c**, то**

***события, разделенные пространственно-подобными интервалами не могут влиять друг на друга, а значит, не могут быть причинно связанными*.**

Причинно связанными событиями могут быть только события, разделенные времени-подобным или нулевым интервалом, для которых выполняется неравенство

$$c\Delta t \geq \Delta l \qquad (9.7.3)$$

Пусть в некоторой инерциальной системе K сначала в некоторой точке произошло событие – причина, а через промежуток времени Δt в другой точке, отстоящей от первой на расстояние Δl, произошло другое событие – следствие. Интервал между этими событиями должен быть *времени-подобным*.

Тогда в другой инерциальной системе K', движущейся относительно системы K со скоростью V вдоль оси y, промежуток между теми же событиями будет равен

$$\Delta t' = \frac{\Delta t - \frac{V \Delta y}{c^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}}$$

Составим отношение двух времен

$$\frac{\Delta t'}{\Delta t} = \frac{1 - \frac{V}{c^2}\frac{\Delta y}{\Delta t}}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}}$$

Здесь дробь $\frac{\Delta y}{\Delta t}$ по смыслу есть скорость распространения воздействия события–причины на событие–следствие. Она не может быть больше c .

Поскольку, кроме того $\frac{V}{c} < 1$, то $\frac{\Delta t'}{\Delta t} > 0$.

Значит, Δt и $\Delta t'$ имеют одинаковые знаки, поэтому

во всех инерциальных системах отсчета событие - причина происходит раньше события – следствия.

Следовательно, *причинно-следственная связь сохраняется между событиями, разделенными времени-подобным или нулевым интервалом.*