



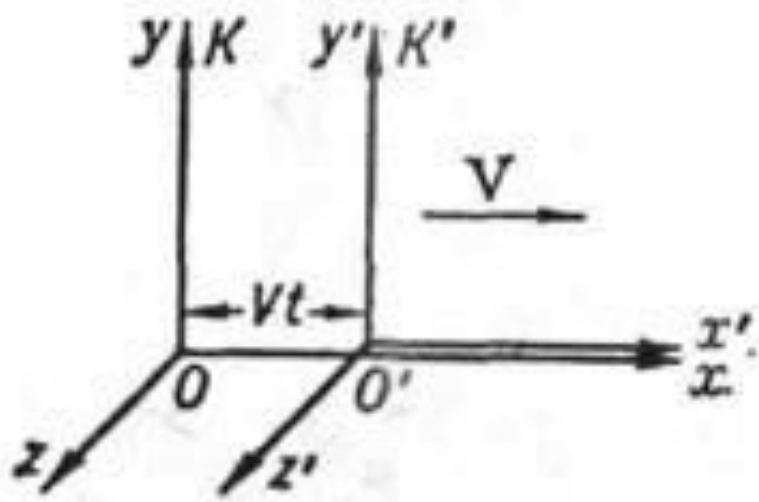
Теория относительности

- I. Системы отсчета
- II. Теория относительности Галилея
- III. Специальная теория относительности
- IV. Постулаты Эйнштейна
- V. Одновременность событий
- VI. Преобразования Лоренца
- VII. Относительность длин
- VIII. Относительность промежутков времени
- IX. Масса и энергия

Системы отсчета

- ***Инерциальной системой отсчета*** называется такая система, по отношению к которой скорость материальной точки, свободной от внешних воздействий, сохраняется неизменной по величине и направлению.
- Любые две инерциальные системы отсчета либо взаимно неподвижны, либо движутся относительно друг друга ***равномерно и прямолинейно с постоянной скоростью.***

Системы отсчета

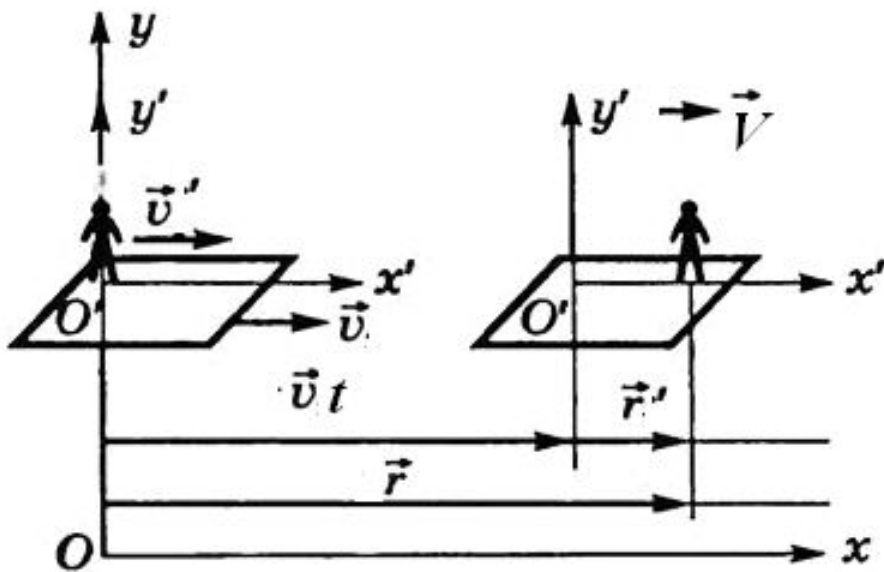


- Две инерциальные системы отсчета K и K' .
- K – неподвижна.
- K' – движется со скоростью V вдоль оси x .
- В начальный момент времени O и O' совпадают.

Теория относительности Галилея

- В классической механике принимается: *свойства пространства* и ход времени во всех инерциальных системах отсчета одинаковы:
- 1. *Размеры тела не зависят от скорости* его движения относительно данной системы отсчета.
- 2. *Промежуток времени* между двумя какими-либо событиями *одинаков* во всех инерциальных системах отсчета.

Преобразования Галилея



- Две системы отсчета
- v' - скорость человека относительно движущейся системы отсчета
- V – скорость движущейся системы отсчета относительно неподвижной системы
- Координаты связаны соотношением
 $x' = x - Vt$ $y = y'$ $z = z'$
- Радиус- векторы
 $r' = r - Vt$
- Скорости $v' = v - V$
- Ускорения $a = a'$

Принцип относительности Галилея

- Ускорение движущейся точки одинаково во всех инерциальных системах отсчета, т.е. ускорение точки *инвариантно* по отношению к преобразованиям Галилея.
- В классической механике считается, что *масса не зависит от скорости* движения тела и одинакова во всех системах отсчета.
- Следовательно и сила *инвариантна* по отношению к преобразованиям Галилея.
- *Принцип относительности Галилея*: в любых инерциальных системах отсчета все механические явления при одних и тех же условиях протекают одинаково.

Специальная теория относительности (СТО)

- СТО представляет собой современную теорию пространства и времени.
- СТО и квантовая механика – теоретическая база современной физики и техники.
- СТО называют релятивистской теорией.
- Релятивистские эффекты проявляются при скоростях движения тел со скоростями, близкими к скорости света.
- В СТО так же как и в классической механике предполагается, что время однородно, а пространство однородно и изотропно.

Постулаты Эйнштейна

- **1 постулат** является обобщением принципа относительности Галилея: в любых инерциальных системах отсчета все механические явления при одних и тех же условиях протекают одинаково.
- **2 постулат** выражает принцип инвариантности скорости света: скорость света в вакууме не зависит от скорости движения источника света. Она одинакова во всех направлениях и во всех инерциальных системах отсчета.
- Эти постулаты противоречат представлениям о свойствах пространства и времени, которые приняты в классической механике.
- Все события должны протекать одновременно в различных инерциальных системах отсчета.

Одновременность событий

- В СТО *ход времени* в разных инерциальных системах отсчета *различен*.
- Следовательно, *промежуток времени* между двумя событиями *относителен*: он изменяется при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой.
- *Относительна и одновременность* двух событий, происходящих в разных системах отсчета.
- События, одновременные в одной инерциальной системе отсчета, вовсе не одновременны в другой инерциальной системе отсчета, движущейся относительно первой.

Преобразования Лоренца

- Эйнштейн показал, что в соответствии с постулатами СТО, связь между координатами и временем в двух инерциальных системах отсчета выражается преобразованиями Лоренца
- При переходе от движущейся системы координат к неподвижной системе координат координаты точки определяются формулами

$$\left\{ \begin{array}{l} x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \\ y = y' \\ z = z' \\ t = \frac{t' + vx'/c^2}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \end{array} \right.$$

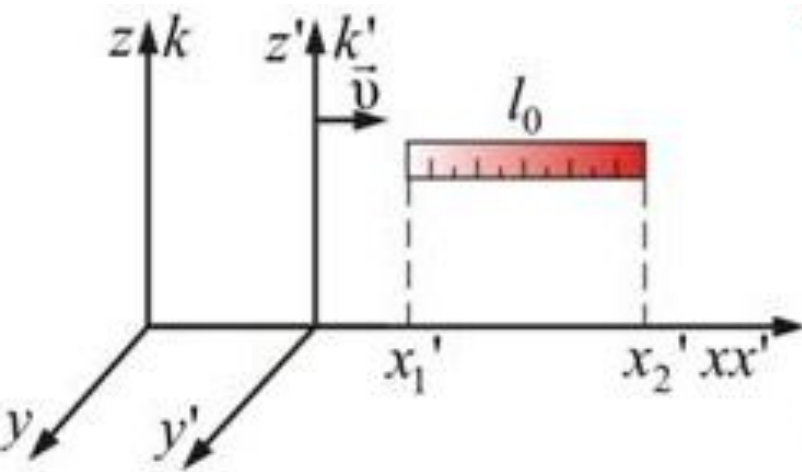
Преобразования Лоренца

- Из формул видно, что при скоростях, значительно меньше скорости света (или при скорости света стремящейся к ∞) формулы Лоренца совпадают с формулами Галилея.
- Т.о., классическая механика базируется на преобразованиях Галилея, пригодна лишь для движений с $v \ll c$.
- Преобразования Галилея и классическая механика построены на предположении о мгновенном распространении света.

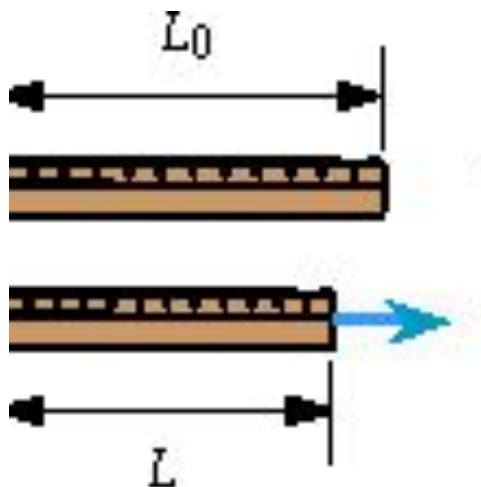
Относительность длин

- Из преобразований Лоренца следует, что линейный размер тела, движущегося относительно инерциальной системы отсчета, уменьшается в направлении движения.
- Изменение продольного размера тела при его движении называется *лоренцовым сокращением*.

Относительность длин



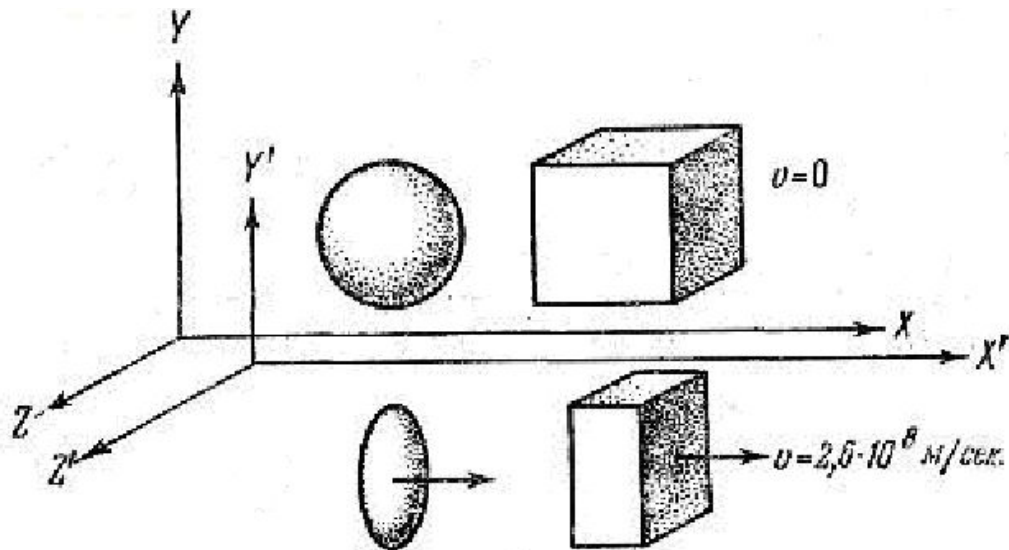
- l_0 – длина стержня в с.о. K' .
- Стержень расположен параллельно оси x и x' .
- $l_0 = x'_2 - x'_1$
- Длина стержня в с.о. K , относительно которой он движется вдоль оси x со скоростью v
- Тела не могут двигаться со $v > c$, т.к. размер должен стать мнимым.



$$l = l_0 \sqrt{1 - (v/c)^2}$$

Относительность длин

- Поперечные размеры тела не зависят от скорости его движения и одинаковы во всех инерциальных системах отсчета.
- Линейные размеры тела относительны.
- Они максимальны в той с.о., относительно которой тело покоится.



Относительность промежутков времени

- Промежуток времени между двумя событиями зависит от выбора инерциальной системы отсчета.
- Рассмотрим неподвижную с.о. K и движущуюся со скоростью V с.о. K' .
- Длительность некоторого процесса, совершившегося в с.о. K' $\tau_0 = t'_2 - t'_1$.
- Время, измеряемое по часам, движущимся вместе с данным объектом, называется *собственным временем* этого объекта.

Относительность промежутков времени

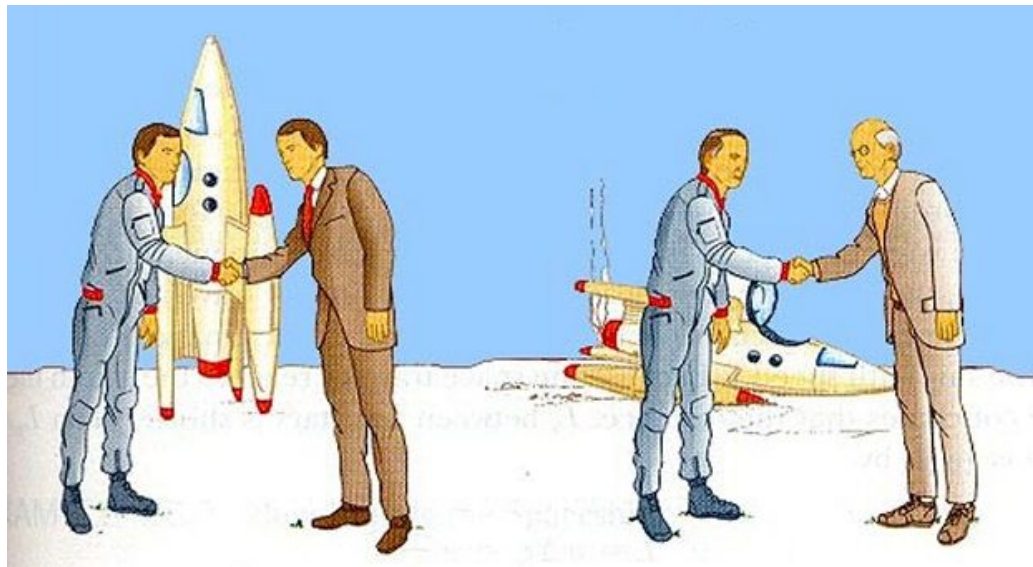
- Из преобразований Лоренца следует, что длительность некоторого процесса, совершившегося в с.о. K'

- $$\tau = \tau_0 / (1 - V^2/c^2)^{1/2}$$

- Следовательно, *ход времени замедляется* в движущейся инерциальной системе отсчета.
- Все физические процессы в движущейся инерциальной системе отсчета протекают медленнее, чем в неподвижной.

Парадокс близнецов

- Корабль движется относительно Земли со скоростью $v/c = 0,99999$, то ход часов на Земле и на корабле различаются в 224 раза.
- На корабле $\tau_0 = 10$ лет, на Земле $\tau = 2240$ лет.
- Корабельная система отсчета не является инерциальной.



Масса и энергия

- Масса движущихся релятивистских частиц зависит от их скорости. Чем больше скорость, тем больше масса.
- Альберт Эйнштейн вывел универсальную зависимость между полной энергией тела и его массой – закон взаимосвязи (пропорциональности) массы и энергии.

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

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$