



# Теория относительности

---

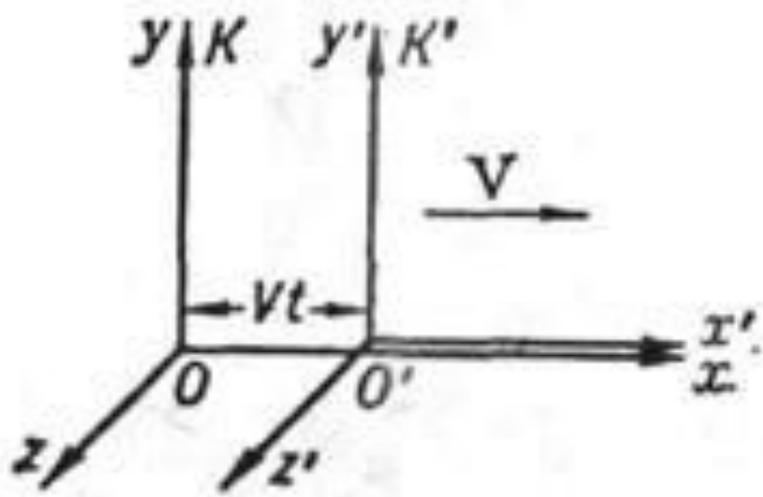
- I. Системы отсчета
- II. Теория относительности Галилея
- III. Специальная теория относительности
- IV. Постулаты Эйнштейна
- V. Одновременность событий
- VI. Преобразования Лоренца
- VII. Относительность длин
- VIII. Относительность промежутков времени
- IX. Масса и энергия

# 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



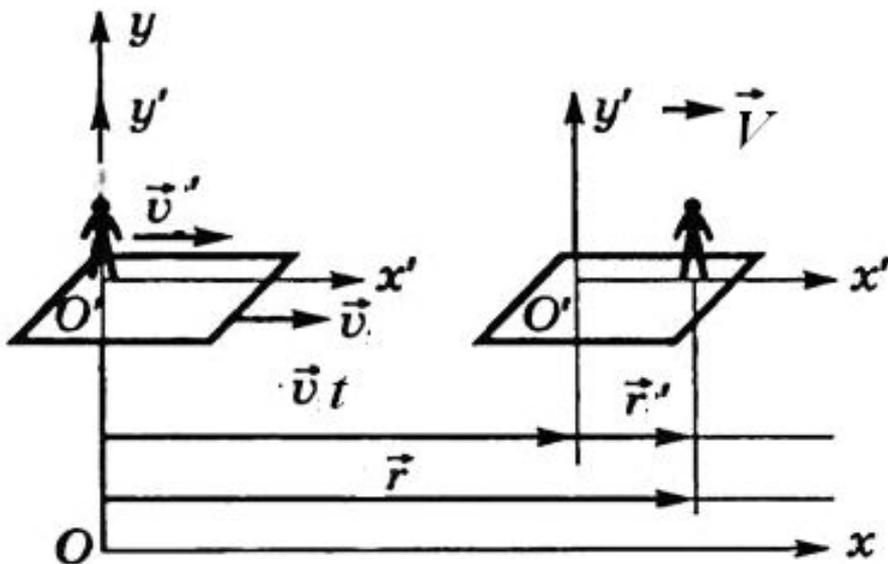
- Две инерциальные системы отсчета  $K$  и  $K'$ .
- $K$  – неподвижна.
- $K'$  – движется со скоростью  $V$  вдоль оси  $x$ .
- В начальный момент времени  $O$  и  $O'$  совпадают.

# 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

---

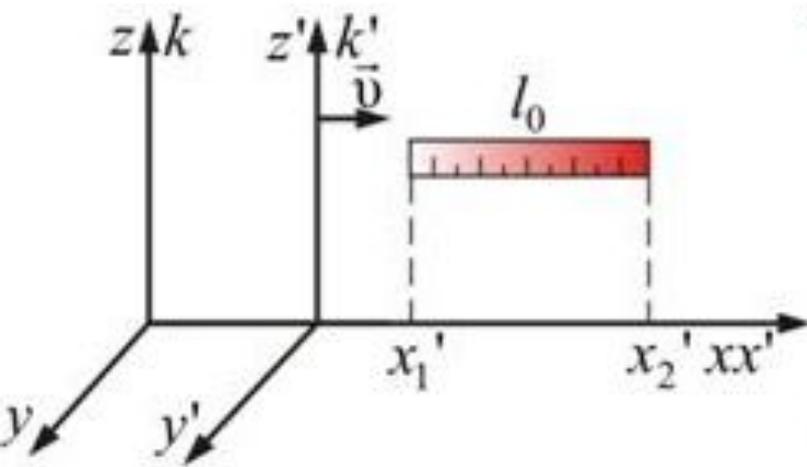
- Из формул видно, что при скоростях, значительно меньше скорости света (или при скорости света стремящейся к  $\infty$ ) формулы Лоренца совпадают с формулами Галилея.
- Т.о., классическая механика базируется на преобразованиях Галилея, пригодна лишь для движений с  $v \ll c$ .
- Преобразования Галилея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

# Относительность длин

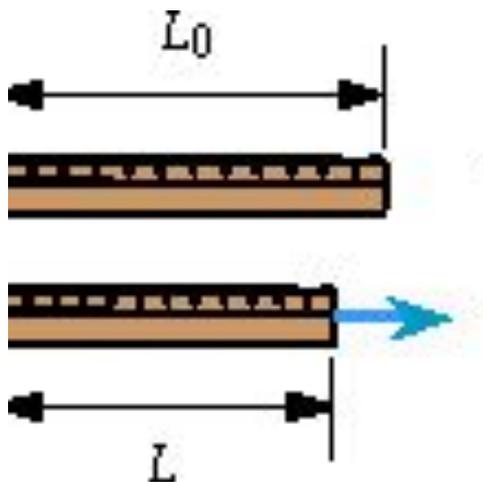
---

- 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



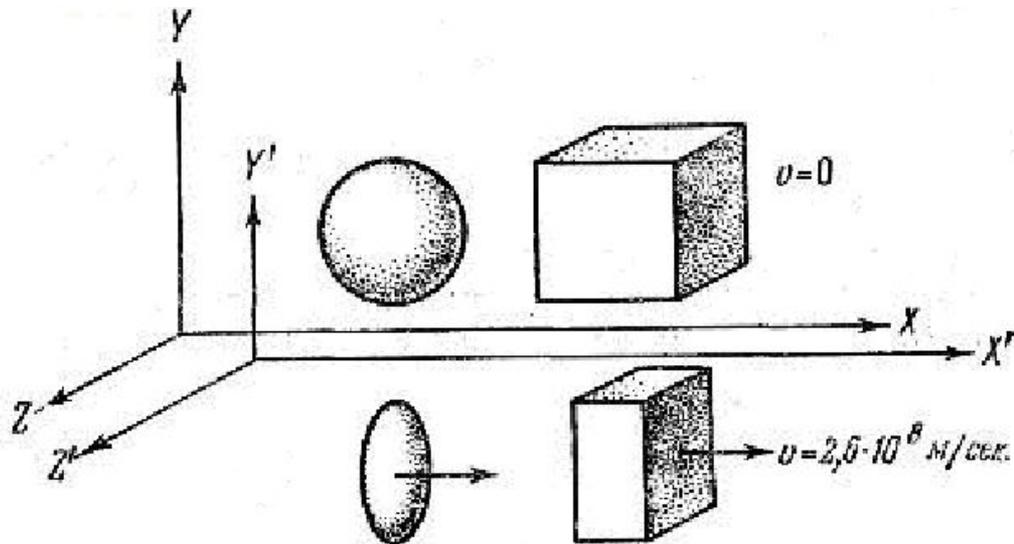
- $l_0$  – длина стержня в с.о.  $K'$ .
- Стержень расположен параллельно оси  $x$  и  $x'$ .
- $l_0 = x'_2 - x'_1$
- Длина стержня в с.о.  $K$ , относительно которой он движется вдоль оси  $x$  со скоростью  $v$
- Тела не могут двигаться со  $v > c$ , т.к. размер должен стать мнимым.



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

# 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

---

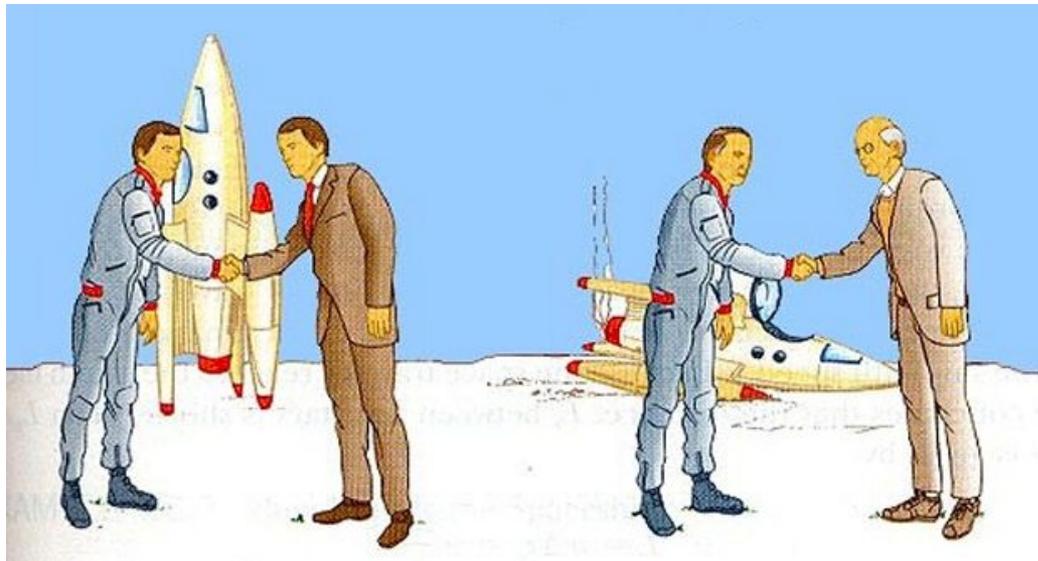
- Из преобразований Лоренца следует, что длительность некоторого процесса, совершившегося в с.о.  $K'$

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

- 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.

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

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