

## ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

Учебное пособие. – Санкт-Петербург: <http://auditori-um.ru>, 2012

### 3.6. Относительность пространственно-временных соотношений в специальной теории относительности

В релятивистской механике представления о свойствах пространства и времени существенно иные, чем в классической механике Ньютона. Релятивистские пространственно-временные представления можно получить как следствия из преобразований Лоренца. Рассмотрим основные следствия из данных преобразований.

#### Одновременность событий

Под **событием** в специальной теории относительности понимают нечто, происходящее в определенной точке пространства в определенный момент времени. Относительность этого понятия связана с тем, что точка пространства и момент времени могут быть определены только по отношению к какой-либо системе отсчёта.

Пусть в точках с координатами  $x_1$  и  $x_2$  ( $x_1 \neq x_2$ )  $K$ -системы одновременно произошли два события. Условием одновременности является равенство моментов времени, когда произошли эти события:  $t_1 = t_2$ . Применяя к данному равенству преобразования Лоренца, нетрудно сделать вывод, что в  $K'$ -системе рассматриваемые события не будут одновременными, т.е.  $t'_1 \neq t'_2$ . Причем, в зависимости от соотношения между координатами либо первое событие будет опережать второе, либо второе – первое. Это, правда, относится только к таким событиям, между которыми нет причинно-следственной связи. Причина всегда происходит раньше следствия во всех системах отсчёта.

#### Релятивистское сокращение длин движущихся тел

Пусть в  $K'$ -системе находится неподвижное относительно этой системы тело длиной  $l_0$  (рис. 3.6). Длина  $l_0$  определяет параллельный оси  $O'x'$  размер тела, измеренный в  $K'$ -системе. Размер  $l_0$ , измеренный в той системе отсчёта, относительно которой тело покоится, называют **собственной длиной тела**. Если наблюдатель  $K$ -системы измерит длину  $l$  этого же тела в своей системе отсчёта, то получит значение

$$l = l_0 \sqrt{1 - V^2/c^2}. \quad (3.13)$$

Нетрудно видеть, что  $l < l_0$ , т.е. для  $K$ -системы пролетающее мимо тело является более коротким, чем в системе, связанной с телом.

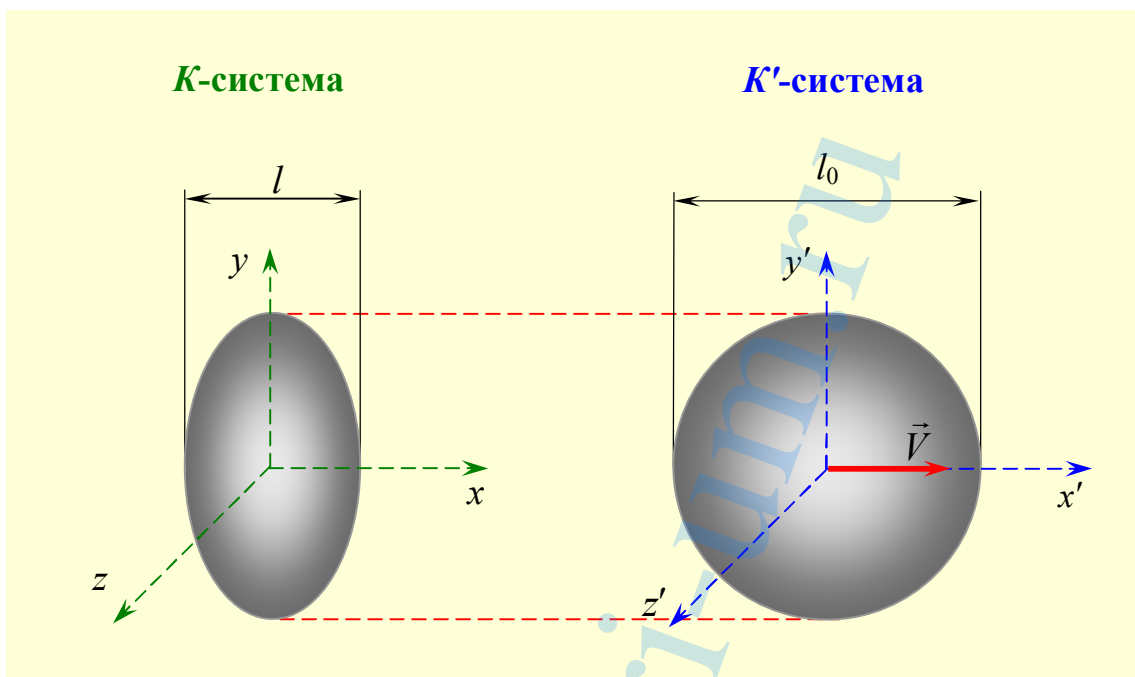


Рис. 3.6. Релятивистское сокращение длины тела

Т.к. обе системы отсчёта равноправны, то эффект сокращения длины движущихся тел является взаимным. Т.е. для наблюдателя  $K'$ -системы покоящееся в  $K$ -системе тело также является более коротким, чем для наблюдателя  $K$ -системы.

На поперечные размеры тел взаимное движение систем отсчёта не влияет.

### Релятивистское замедление хода времени

Пусть в одной и той же точке  $K'$ -системы в моменты времени  $t'_1$  и  $t'_2$ , измеренные по часам этой системы, произошли два события. Промежуток времени  $\tau_0 = t'_2 - t'_1$ , измеренный по часам, покоящимся в данной системе отсчёта, называют **собственным временем**  $K'$ -системы. Если наблюдатель  $K$ -системы по своим часам измерит моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ , когда эти же события наблюдались в его системе отсчёта, то он определит промежуток времени  $\tau = t_2 - t_1$ . Из преобразований Лоренца получается следующее соотношение:

$$\tau_0 = \tau \sqrt{1 - V^2/c^2}. \quad (3.14)$$

Из (3.14) следует, что  $\tau_0 < \tau$ , т.е. для наблюдателя  $K$ -системы время в  $K'$ -системе течет медленнее, чем в его собственной системе.

Эффект замедления времени также является взаимным: для наблюдателя  $K'$ -системы время в  $K$ -системе течет медленнее, чем в его собственной системе отсчёта. На этой взаимности основан, так называемый, "парадокс близнецов".

Пусть близнец  $A$  остается на Земле, а близнец  $B$  улетает в космическое путешествие. Кто из них окажется моложе при возвращении близнеца  $B$  на Землю? Ведь равноправие систем отсчёта позволяет, казалось бы, принять, что близнец  $B$  остаётся в неподвижной системе отсчёта, связанной с космическим кораблем. В то время как близнец  $A$  улетает от космического корабля вместе с планетой Земля, а затем возвращается к этому кораблю вместе с Землей.

На самом деле здесь нет равноправия систем отсчёта. Космический корабль, стартуя, движется ускоренно относительно инерциальной гелиоцентрической системы отсчёта. В конечной точке путешествия он движется замедленно. Затем опять стартует, ускоряясь в начале обратного путешествия. И, наконец, замедляется при посадке на Землю. Ускоренно и замедленно движущееся тело не является инерциальной системой отсчёта, и к нему кинематика специальной теории относительности неприменима.

Общая теория относительности утверждает, что в ускоренно или замедленно движущейся системе отсчёта время реально течёт медленнее, чем в инерциальной системе отсчёта. Так что при возвращении на Землю моложе окажется близнец-космонавт. Земля тоже не является инерциальной системой отсчёта, но её движение вокруг Солнца и вращение вокруг земной оси не оказывают существенного влияния на течение времени. Поэтому при объяснении парадокса близнецов можно считать, что время на Земле течёт так же, как время в инерциальной гелиоцентрической системе отсчёта.