Квантовая Магия, том 5, вып. 2, стр. 2178-2182, 2008

Три чуда СТО: парадокс спешащих часов

П.В. Путенихин
m55@mail.ru

(Получена 5 февраля 2008; опубликована 15 апреля 2008)

В полном соответствии с положениями специальной теории относительности время в движущейся ИСО течет быстрее, чем в неподвижной ИСО, при этом в движущейся ИСО все часы отстают.

Чудо первое: отставание движущихся часов

Пусть в системе S\` неподвижно укреплены часы, отсчитывающие время $t`$ [2]. Их пространственные координаты $x`$, $y`$, $z`$ являются, следовательно, постоянными. Будем наблюдать показания этих часов с точки зрения системы S. Отмечаем с точки зрения системы S тот момент $t_1$, когда часы показывают время $t`_1$; согласно формуле:

$$t_1 = \frac{t`_1 + \frac{u}{c^2}x`}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}.$$

Совершенно аналогично показание часов $t`_2$ наблюдается с точки зрения S в момент t_2:

$$t_2 = \frac{t`_2 + \frac{u}{c^2}x`}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}.$$

Вычитая почленно, получаем:

$$t_2 - t_1 = \frac{t`_2 - t`_1}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}, \quad \text{т.е. } t`_2 - t`_1 = \sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}(t_2 - t_1)$$

Итак, с точки зрения системы S прошел промежуток времени t_2 - t_1; если же судить по показаниям движущихся часов (точно таких же, какими измеряется время в системе S), то этот промежуток времени равен $t`_2 - t`_1$, т.е. короче в отношении $\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}$. *Таким образом, **движущиеся** часы начинают отставать*, ход их замедляется в отношении $\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}$, хотя с точки зрения той инерциальной системы, которая движется вместе с часами, в часах не произошло абсолютно никаких изменений.

В специальной теории относительности формулы перехода от одной инерциальной системы S к другой S\` носят название *формул Лоренца* [2]:

$$t` = \frac{t - \frac{u}{c^2}x}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}, \qquad x` = \frac{-ut + x}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}, \qquad y` = y, \qquad z` = z$$

Если, обратно, выразить отсюда *t, x, y, z* через *t`, x`, y`, z`*, то это обратное преобразование, как показывает элементарный подсчет, будет иметь вид:

$$t = \frac{t` + \frac{u}{c^2}x`}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}, \qquad x = \frac{ut` + x`}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}, \qquad y = y`, \qquad z = z`$$

Как видим, для вывода соотношений, показывающих отставание движущихся часов, мы использовали обратное преобразование. Но ничто не мешает нам воспользоваться и прямыми преобразованиями. Повторим выше приведенные рассуждения для этих формул. Пусть в системе S` неподвижно укреплены часы, отсчитывающие время *t`*. Их пространственные координаты *x`, y`, z`* являются, следовательно, постоянными. Будем наблюдать показания этих часов с точки зрения системы S. Отмечаем с точки зрения системы S тот момент $t_1$, когда часы показывают время $t`_1$ согласно формуле:

$$t_1' = \frac{t_1 + \frac{u}{c^2}x}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}.$$

Совершенно аналогично показание часов $t`_2$ наблюдается с точки зрения S в момент t_2:

$$t_2' = \frac{t_2 + \frac{u}{c^2}x}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}.$$

Вычитая почленно, получаем:

$$t_2' - t_1' = \frac{t_2 - t_1}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}, \quad \text{т.е. } t_2 - t_1 = \sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}(t_2' - t_1')$$

Итак, с точки зрения системы S прошел промежуток времени t_2 - t_1; если же судить по показаниям движущихся часов (точно таких же, какими измеряется время в системе S), то этот промежуток времени равен $t`_2 - t`_1$, т.е. длиннее в отношении $\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}$. *Таким образом,* ***неподвижные*** *часы начинают отставать,* ход их замедляется в отношении $\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}$, хотя с точки зрения той инерциальной системы, которая неподвижна вместе с часами, в часах не произошло абсолютно никаких изменений.

Но, позвольте, воскликнет удивленный читатель! Чуть выше мы показали, что отстают движущиеся часы! Так какие же часы отстают: ***движущиеся*** или ***неподвижные***?!

Чудо второе: парадокс спешащих часов

Как могло такое получиться? Может быть, формулы Лоренца ошибочные? Нет, этому странному противоречию есть достаточно простое объяснение. *Мы видим, что для сравнения хода часов в двух системах отсчета необходимы несколько часов в одной системе и одни в другой. Поэтому этот процесс не симметричен по отношению к обеим* *системам. Всегда окажутся отстающими те часы, которые сравниваются с разными часами в другой системе отсчета* [1].

И что это означает? Парадокс? Нет, никакого парадокса, разумеется, тоже нет. Если мы рассматриваем одни конкретные часы, то они отстают независимо от того, в какой системе мы их наблюдаем: в своей, неподвижной или в движущейся мимо нас. Ведь отстают именно *часы* по отношению ко *времени*, текущему в системе, мимо которой они относительно движутся. Но тогда получается, что, наоборот, время по отношению к этим часам течет быстрее! Другими словами: время в движущейся системе течет быстрее, чем показания неподвижных часов! Если мы наблюдаем за событиями, происходящими в движущейся мимо нас ИСО, то мы видим в ней ускоренное течение времени по отношению к часам, находящимся рядом с нами. Это означает, что все движущиеся мимо нас часы будут показывать время, опережающее показания наших неподвижных часов.
Следует сформулировать это более отчетливо:

Время в движущейся системе течет быстрее, чем в неподвижной системе, при этом каждые часы в движущейся системе отстают.

Чудо третье: парадокс непонимания

Многочисленные обсуждения описанного явления спешащих часов на форумах в интернете показали, что это очевидное явление не понимает *никто*. Автор не встретил *ни одного* собеседника, кто бы понял суть этого явления и согласился с тем, что оно логически следует из формул Лоренца. А ведь явление является рядовым выводом из специальной теории относительности и не противоречит ей, а лишь еще более наглядно показывает, насколько это удивительная теория - СТО.

Посмотрим, как это явление могло бы проявиться в реальности. Представим себе такую картину. Мимо нас движется бесконечной длины поезд. Он движется с такой скоростью, что его часы идут в два раза медленнее неподвижных. В каждом вагоне через окна мы видим телевизоры. Чтобы исключить сплошное мельтешение, мы смотрим на телевизоры через стробоскоп, который открывает окошко лишь в момент, когда очередной телевизор находится прямо против нас. По телевизору идет прямая трансляция восходов и заходов солнца в движущейся ИСО, по отношению к которой поезд неподвижен. Казалось бы, мы должны видеть, что солнце *замедленно* всходит и заходит. Но все происходит наоборот: солнце стремительно поднимается на востоке и быстро скрывается за горизонтом на западе. Для принятого выше удвоения темпа времени сутки, транслируемые по телевизору, будут в два раза короче наших, неподвижных суток.

Другая картина. Мимо нас движется ИСО, и мы видим в ней бескрайний лес. Для нас деревья в этом лесу растут в два раза быстрее и урожай плодов тоже удвоенной частоты. Это наблюдение справедливо вообще для всех циклических процессов в ИСО, движущейся мимо нас. Если мимо нас движется платформа с встречающими, которые синхронно (по меркам движущейся ИСО, в которой платформа, разумеется, неподвижна) поднимают и опускают руки, то для нас скорость их движений будет удвоенной, то есть намного быстрее, чем, например, движение персонажей на старинных кинолентах.

Темп времени

Еще одним интересным явлением в специальной теории относительности является то, что в двух относительно движущихся ИСО существуют точки, в которых их часы идут синхронно. Найдем эти точки. Время в подвижной системе вычисляется по формуле:

$$t` = \frac{t - \frac{u}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}.$$

Как можно трактовать это выражение? Координата x обозначает положение наблюдателя, относительно которого вычисляется время в подвижной системе. Рассмотрим наблюдателя, находящегося в начале неподвижной системы координат:

$$t` = \frac{t}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}.$$

Из полученного выражения видно, что скорость течения времени в подвижной системе координат *выше* скорости времени в неподвижной, поскольку знаменатель меньше единицы. Для наглядности рассмотрим случай, когда его величина равна 1/2, что соответствует скорости движения v примерно 0,9 от скорости света:

$$t` = 2t$$

Выходит, что наблюдатель, находящийся в начале неподвижной системы координат, будет видеть на подвижных часах время, всегда текущее в два раза быстрее, чем показания на его собственных часах. Получается, что темп времени в подвижной системе *выше* темпа времени неподвижной системы. Именно к такому выводу мы пришли выше, рассматривая парадокс спешащего времени.

Найдем точку, в которой показания часов движущихся совпадают с показаниями неподвижных часов:

$$t` = \frac{t - \frac{u}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}},$$

Откуда находим для $t = t`$:

$$t = \frac{t - \frac{u}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}},$$

Преобразуем, чтобы выделить искомую координату x:

$$t\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}} = t - \frac{u}{c^2}x$$

Далее:

$$t(1 - \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}) = \frac{u}{c^2}x$$

И окончательно:

$$x = \frac{tc^2}{u}(1 - \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}})$$

Поскольку уравнение имеет решение, значит, существует точка, в которой показания движущихся и неподвижных часов совпадают. Говоря другими словами, в подвижной ИСО есть часы, идущие синхронно с часами неподвижной ИСО. Таких точек совпадения времен множество (видимо, для каждого значения времени есть своя точка) и каждая из них движется со скоростью:

$$u_{t=} = \frac{c^2}{u}(1 - \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}})$$

Оценим значение этой скорости. Если ИСО движется со скоростью 0.5с, то получаем значение, примерно, 0.07с. Если ИСО движется со скоростью 10^{-4}с (примерно с орбитальной скоростью Земли), то скорость точки совпадения не превышает 10^{-12}с, то есть примерно 0,5 м/час. Если ИСО движется примерно со скоростью звука в воздухе – 10^{-4}с, то скорость точки совпадения не превышает 1 микрон в час, то есть фактически точка неподвижна. В последнем случае это означает, что в точке с координатой x неподвижные и подвижные часы (строго говоря, множество часов, стремительно пролетающих мимо этой точки) показывают одинаковое время *t*:

$$x = tu_{t=}$$

Очевидно, что до этой точки часы движущейся ИСО показывают время большее, чем в неподвижной ИСО, а после этой точки движущиеся часы начинают отставать абсолютно (их показания имеют в абсолютном выражении меньшие значения).

К сведению

Данная статья не содержит ни опровержений положений СТО, ни даже малейшей их критики. В ней лишь приведены интересные следствия СТО, которые нигде в литературе не упоминаются.

Литература

1. Ландау Л.Д. и Лифшиц Е.М., Теоретическая физика в десяти томах, т.II Теория поля. – М., «Наука», 1988.
2. Рашевский П.К., Риманова геометрия и тензорный анализ. – М., «Наука», 1967.