

## Три чуда СТО: парадокс спешащих часов

Путенихин П.В.  
[m55@mail.ru](mailto:m55@mail.ru)

### Аннотация

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.

### Ключевые слова

Преобразования Лоренца, специальная теория относительности, замедление времени, ускоренный ход времени

### 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:

$$t_1 = \frac{t'_1 + \frac{v}{c^2} x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Совершенно аналогично показание часов  $t'_2$  наблюдается с точки зрения  $S$  в момент  $t_2$ :

$$t_2 = \frac{t'_2 + \frac{v}{c^2} x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Вычитая почленно, получаем:

$$t_2 - t_1 = \frac{t'_2 - t'_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \text{ т.е. } t'_2 - t'_1 = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} (t_2 - t_1)$$

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  $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ . Таким образом, **движущиеся** часы начинают отставать, ход их замедляется в отношении  $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ , 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]:

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad x' = \frac{-vt + x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad y' = y, \quad z' = z$$

Если, обратно, выразить отсюда  $t, x, y, z$  через  $t', x', y', z'$ , то это обратное преобразование, как показывает элементарный подсчет, будет иметь вид:

$$t = \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad x = \frac{vt' + x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad y = y', \quad z = z'$$

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:

$$t'_1 = \frac{t_1 + \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Совершенно аналогично показание часов  $t'_2$  наблюдается с точки зрения  $S$  в момент  $t_2$ :

$$t'_2 = \frac{t_2 + \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Вычитая почленно, получаем:

$$t'_2 - t'_1 = \frac{t_2 - t_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad \text{т.е.} \quad t_2 - t_1 = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} (t'_2 - t'_1)$$

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  $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ . Таким образом, **неподвижные** часы начинают отставать, ход их замедляется в отношении

$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ , 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 мельтешенье, 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 суток, 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 встречающимися, 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:

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

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:

$$t' = \frac{t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

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:

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Откуда находим для  $t = t'$ :

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

Преобразуем, чтобы выделить искомую координату  $x$ :

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

Далее:

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

И окончательно:

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

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:

$$v_{\text{т}} = \frac{c^2}{v} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}\right)$$

Оценим значение этой скорости. Если ИСО движется со скоростью 0.5c, то получаем значение, примерно, 0.07c. Если ИСО движется со скоростью  $10^{-4}c$  (примерно с орбитальной скоростью Земли), то скорость точки совпадения не превышает  $10^{-12}c$ , то есть примерно 0,5 м/час. Если ИСО движется примерно со скоростью звука в воздухе –  $10^{-4}c$ , 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:

$$x = tv_{\text{т}}$$

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).

## Заключение

Согласно положениям СТО движущиеся часы отстают от неподвижных. Но согласно этим же положениям получается, что темп хода времени в движущейся ИСО, наоборот, ускоряется.

Ускорение темпа хода времени и отставание хода часов не являются противоречием. В первом случае сравниваются неподвижные часы со всеми без исключения движущимися часами, во втором – только с единственными.

Данная статья не содержит ни критики, ни опровержения положений СТО. 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.

05.02.2008