Квантовая Магия, том 3, вып. 4, стр. 4168-4185, 2006

Магия преобразований Лоренца

Путенихин П. В.
m55@mail.ru

(получена 26 июля; изменена 30 сентября 2006; опубликована 15 октября 2006)

Специальная теория относительности (СТО) подвергается постоянным попыткам опровержения. Математический аппарат (кинематическая часть и формулы Лоренца) доказаны корректно и не подлежат сомнению. Отождествление СТО как теории с физической реальностью приводит к возникновению различных парадоксов, которые ставят теорию под сомнение, провозглашая хотя и непротиворечивый характер математики СТО (и формул Лоренца), но их формальный, субъективный характер. Показано, что для так называемого «здравого смысла» положения теории относительности и формул Лоренца не представляют серьезной сложности. Рассмотрена псевдо-СТО, полностью отвечающая постулатам СТО и требованиям относительности.

Постулаты СТО

В основе специальной теории относительности лежат два принципа, которые являются постулатами.

Принцип относительности

Все физические явления протекают одинаковым образом во всех инерциальных системах отсчета; все законы природы и уравнения их описывающие, инвариантны, то есть не меняются, при переходе от одной инерциальной системе отсчёта к другой.

Другими словами, все инерциальные системы отсчета эквивалентны (неразличимы) по своим физическим свойствам; никаким опытом нельзя в принципе выделить ни одну из них как предпочтительную [8, с.262].

«…теряет смысл отличать среди инерциальных систем те, которые находятся «в абсолютном покое», от тех, которые «движутся», раз за понятием абсолютно покоящейся системы отсчета не стоит никакой физической реальности, которая отличала бы ее от остальных инерциальных систем, то это значит, что мы имеем дело с неудачной абстракцией, не оправдавшейся дальнейшим развитием науки. В дальнейшем, рассматривая инерциальные системы, мы будем считать их все равноправными и обладающими движением лишь одна относительно другой (а не абсолютным)». [8, с.262]

Принцип постоянства скорости света

Скорость света в вакууме одинакова по всех инерциальных системах отсчёта, то есть скорость света в вакууме не зависит от движения источника света и одинакова во всех направлениях [13].

Преобразования Лоренца (формулы Лоренца)

Основные характеристики относительного движения двух инерциальных систем в СТО описываются с помощь формул перехода (преобразований), которые для случая движения вдоль оси x имеют следующий вид:

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

Эти формулы перехода от одной инерциальной системы S к другой S` носят название *формул Лоренца* [8, с.271].

Анализ формул Лоренца показывает, что между двумя ИСО возникают релятивистские эффекты: отставание часов в движущейся системе, относительность одновременности, сокращение длин. Наиболее интересным эффектом является эффект отставания часов в системе, движущейся относительно данной системы. Эффект этот, описываемый формулами Лоренца, приводит к противоречию (парадоксу) с постулатом СТО о равноправии инерциальных систем.

Сущность отставания часов

Каким образом возникает отставание движущихся часов, показано, например, в работе [8, с.271]. 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 первой формуле (63.8)

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

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:

$$t_2 - t_1 = \frac{t`_2 - t`_1}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}, \quad \text{т.е.} \quad t`_2 - t`_1 = \sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}(t_2 - t_1). \quad (64.5)$$

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 [8, с.276-277].

Противоречие вычисления отставания часов

При вычислении отставания часов по формулам Лоренца возникает противоречие: часы в одной ИСО должны отставать по отношению к часам в другой ИСО *взаимно*. О том, что это не является противоречием, говорится в работе [4, с.23]:

«Пусть относительно инерциальной системы отсчета К движутся прямолинейно и равномерно другие часы. Система отсчета К`, связанная с этими последними, тоже инерциальная. Тогда часы в системе К` с точки зрения наблюдателя в системе К отстают по сравнению с его часами. И наоборот, с точки зрения системы К` отстают часы в системе К.»

В подтверждение отсутствия противоречия предлагается обратить внимание на следующее обстоятельство:

«Для того чтобы установить, что часы в системе К` отстают относительно часов в системе К, надо поступить следующим образом. Пусть в некоторый момент времени часы К` пролетают мимо часов К, и в этот момент показания обоих часов совпадают. Для сравнения хода часов К и К` надо вновь сравнить показания тех же движущихся часов К` с часами в К.»

То есть производится повторное измерение показаний часов, чтобы увидеть разницу их хода.

«Но теперь мы уже сравниваем эти часы с другими часами в К – с теми, мимо которых часы К` пролетают в другой момент.»

Это действительно так, поскольку сравнить показания с прежними часами, не перемещая их, мы не можем, так как эти часы сразу же станут подвижными, то есть не принадлежащими системе К.

«При этом обнаружится, что часы К` будут отставать по сравнению с часами в К, с которыми они сравниваются.»

И это тоже верно, но напомним, что с точки зрения системы К показания этих новых часов равны показаниям тех, первых, поскольку в системе К все часы без исключения показывают одно и то же время (поскольку идут синхронно, с одинаковой скоростью хода).

«Мы видим, что для сравнения хода часов в двух системах отсчета необходимы несколько часов в одной системе и одни в другой.»

Строго говоря, это не совсем так. Для сравнения хода часов в разных ИСО нам необходимы *любые* двое часов, одни в одной системе, другие – в другой. Необходимо лишь одно условие: либо эти часы сравниваются непосредственно в одной точке пространства, либо по некоторой метке, которая обеспечивает запись показаний часов в каждой из ИСО *одновременно*. То есть показания часов К и К` должны записываться в системе, например, К одновременно.

«Поэтому этот процесс не симметричен по отношению к обеим системам.»

Это выглядит как подмена понятий. Изначально говорилось о том, что отставание часов наблюдается в каждой из двух *равноправных* систем. Здесь же процедура проверки отставания часов сведена к измерению его лишь *в одной* системе – К, что само по себе, разумеется, противоречием не является.

«Всегда окажутся отстающими те часы, которые сравниваются с разными часами в другой системе отсчета.»

Это действительно так, но исходное противоречие осталось не разрешенным. Вывод полностью соответствует первоначальной формулировке противоречия, то есть, фактически это не вывод, а воспроизведение одного из противоборствующих утверждений исходного противоречия:

«часы в системе К` с точки зрения наблюдателя в системе К отстают по сравнению с его часами. И наоборот, с точки зрения системы К` отстают часы в системе К.»

Ничто не мешает нам выполнить это сравнение наоборот. Полученный вывод подтверждает: да, действительно, всегда окажутся отстающими часы *в любой* из систем, рассматриваемой нами *по нашему выбору*. Мы можем взять часы в системе К за «*те часы, которые сравниваются с разными часами в другой системе отсчета*». А можем взять часы в системе К` и получить симметричный результат: отстают часы в каждой из систем по отношению к другой.

Однако мы можем сделать и совершенно иное сравнение, в результате которого получим противоположный результат: спешащие часы в движущейся системе.

Парадокс спешащих часов

Как сказано выше, *«всегда окажутся отстающими те часы, которые сравниваются с разными часами в другой системе отсчета»*. Например, мы можем наблюдать движущиеся мимо нас часы и сравнивать их с показаниями часов, находящихся рядом с нами. То есть мы будем сравнивать одни наши часы с несколькими часами, движущимися мимо нас, то есть строго по той же методике, что предложена в [4, с.23]. Каждое сравнение будет показывать, что наши часы отстают по отношению к часам движущейся ИСО. То есть создается впечатление, что время в подвижной ИСО течет быстрее времени в нашей, неподвижной ИСО. Действительно, любые часы в подвижной ИСО показывают время в ней в той ее части, которая находится рядом с нами. Этот результат является прямым следствием из преобразований Лоренца и ни в коей мере не ставит их под сомнение. Просто формулировка отставания часов в данном случае звучит противоположно утверждению СТО: движущиеся часы отстают. Как мы отметили, каждые движущиеся мимо нас часы показывают опережающее время, причем разница показаний с каждыми новыми часами только возрастает.

Поскольку движущиеся мимо нас часы показывают время в той, движущейся мимо нас системе, это означает, что фактически для непосредственного наблюдателя *в движущейся системе время течет ускоренно*.

Парадокс близнецов

Основа парадокса близнецов заложена в работе Эйнштейна «К электродинамике движущихся тел» [12, с.19]:

«Если в точках А и В системы К помещены покоящиеся синхронно идущие часы, наблюдаемые в покоящейся системе, и если часы из точки А двигать по линии, соединяющей ее с В, в сторону последней со скоростью v, то по прибытии этих часов в В они уже не будут более идти синхронно с часами в В. Часы, передвигавшиеся из А в В, отстают по сравнению с часами, находящимися в В с самого начала, на $(1\backslash 2)t(v^2\backslash V^2)$ сек (с точностью до величин четвертого и высшего порядков), если t – время, в течение которого часы из А двигались в В. Сразу видно, что этот результат получается и тогда, когда часы движутся из А в В по любой ломаной линии, а также тогда, когда точки А и В совпадают.

Если принять, что результат, доказанный для ломаной линии, верен также для непрерывноменяющей свое направление кривой, то получаем следующую теорему.

Если в точке А находятся двое синхронно идущих часов и мы перемещаем одни из них по замкнутой кривой с постоянной скоростью до тех пор, пока они не вернутся в А (на что потребуется, скажем, t сек), то эти часы по прибытии в А будут отставать по сравнению с часами, остававшимися неподвижными на

$$\frac{1}{2}t(\upsilon^2/V^2) \text{ сек.»}$$

Само описанное Эйнштейном явление не является парадоксом. Парадокс возник вследствие того, что теория постулировала равноправие всех систем, поэтому следует рассмотреть явление и с другой точки зрения, вследствие чего и возникает парадокс, поскольку должны отстать другие часы.

В последующем эта теорема приобрела нынешний вид парадокса близнецов. Один из двух близнецов улетает к звездам на космическом корабле. Через некоторое время он возвращается и встречается со своим земным братом. Поскольку корабль двигался относительно Земли, то часы на корабле должны были отстать, и путешественник при встрече окажется моложе своего брата. Однако и с точки зрения корабля движущейся можно рассматривать Землю, а космический корабль – неподвижным. В этом случае моложе должен оказаться земной брат. Это противоречие и носит название «парадокс близнецов».

Предпринималось множество попыток разрешения парадокса. Очевидно самым обоснованным и приемлемым решением является признание неравноправия систем, поскольку одна из них движется ускоренно и к ней математика СТО неприменима. Именно в этой системе часы отстают.

Однако с появлением общей теории относительности обнаружено новое явление – замедление хода часов в гравитационном поле, что требует нового подхода к парадоксу близнецов. Согласно принципу эквивалентности ускоренно движущееся тело находится в таких же условиях, что и находящееся в поле гравитации:

«…свойства движения в неинерциальной системе отсчета такие же, как в инерциальной системе при наличии гравитационного поля. Другими словами, неинерциальная система отсчета эквивалентна некоторому гравитационному полю.

Это обстоятельство называют принципом эквивалентности.

...равномерно ускоренная система отсчета эквивалентна постоянному однородному внешнему полю». [7, c,5]

Это обстоятельство вынуждает рассмотреть ход движущихся часов с двух позиций. Предположим, что движущиеся часы движутся равноускоренно из точки А в точку В. С позиции неподвижного наблюдателя движущиеся часы будут отставать, и это отставание можно вычислить интегрированием по формулам Лоренца, поскольку скорость, входящая в нее непрерывно возрастает. Таким образом можно утверждать, что отставание движущихся часов по отношению к неподвижным вызвано СТО-эффектом. Например, часы отстали на t секунд и все это отставание вызвано релятивистским эффектом замедления хода часов. Относительное отставание неподвижных часов с точки зрения движущихся часов должно отсутствовать. Однако это противоречит гравитационному эффекту, поскольку движущиеся часы безусловно должны были отстать.

Как известно, формулы Лоренца с точки зрения ускоренно движущихся часов применить нельзя, но тем не менее *очевидно*, что и с точки зрения ускоренно движущихся часов неподвижные часы все-таки должны отставать, хотя вычисление этого отставания средствами СТО не предусмотрено. Тем не менее, трудно представить, что наличие ускорения каким-то образом заставляет неподвижные часы ускорить свой ход. Действительно, разлетающиеся часы взаимно отстают. Но стоит одним из них ускорить свое движение, как другие сразу же перестают отставать, причем независимо от величины ускорения.

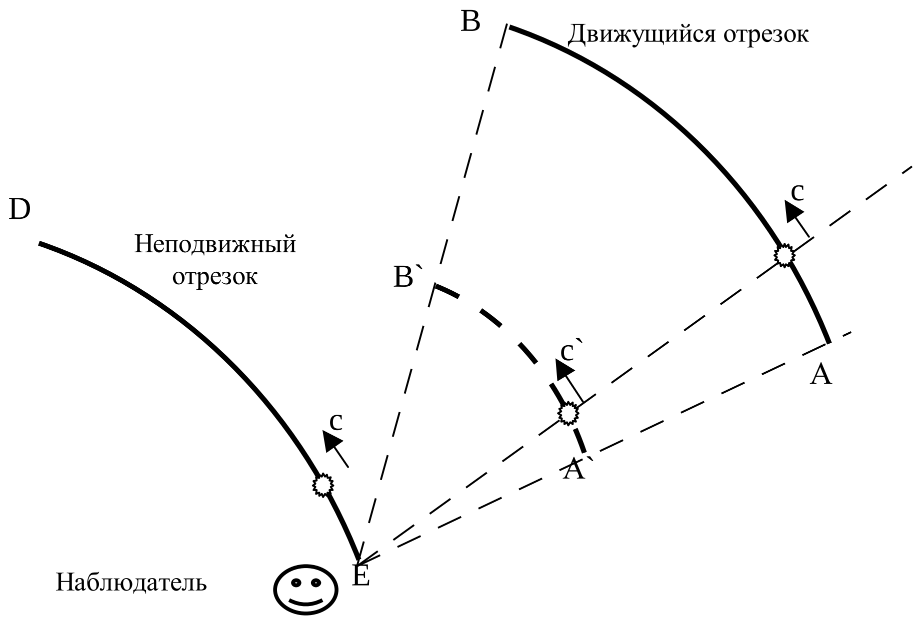
Обоснование этого тем, что формулы Лоренца *нельзя* применить, звучит мало убедительно. Это «*нельзя*» требует более веского обоснования.

С другой стороны, движущиеся ускоренно часы, в соответствие с принципом эквивалентности, испытывают действие эквивалентного гравитационного поля. Вследствие этого, они также должны замедлить свой ход и отстать. Причем отстать абсолютно, независимо от относительного движения.

Возникает парадокс. Если движущиеся часы отстали вследствие релятивистского эффекта, который точно рассчитывает величину этого отставания, *не принимая во внимание никаких других факторов*, то отставания вследствие гравитации нет и принцип эквивалентности не точен. Напротив, если отставание движущихся часов возникло вследствие действия инерционных сил (полностью или частично), то не точны, получается, результаты расчетов по формулам Лоренца.

Лоренцево сокращение длины и здравый смысл

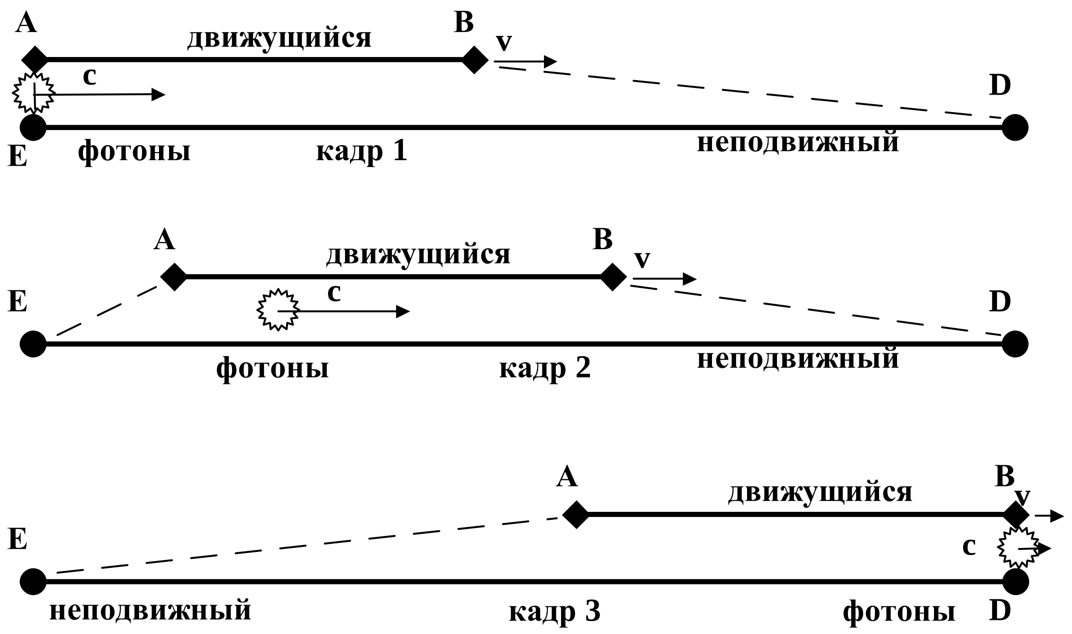
Часто при рассмотрении положений СТО говорят, что она делает «*выводы, опрокидывающие многие привычные представления*» [8], которые не просто непривычны для здравого смысла, а откровенно ему противоречат, не умещаются в его рамки. Это следует, например, из того, что якобы трудно представить себе взаимное отставание часов: с точки зрения А отстают часы В, а с точки зрения В – отстают часы А. Однако в реальной жизни есть похожие ситуации взаимного искажения соотношений. Например, видя человека на расстоянии, никто не удивляется, что рост его кажется уменьшенным и при этом осознает, что тому человеку свой рост также кажется уменьшенным. Не слишком сложно представить подобную пространственную перспективу и для взаимного сокращения длин отрезков. Видя движущийся мимо нас отрезок сокращенным, мы можем представить его как бы находящимся на удалении от нас. То есть движение отрезка словно отдаляет его от нас в пространстве. Рассмотрим рисунок:



Наблюдатель находится рядом с концом E неподвижного отрезка. Мимо него движется отрезок AB. В момент, когда концы отрезков E и A поравняются, из них излучаются по фотону вдоль отрезков. Понятно, что вдоль своих отрезков фотоны движутся со скоростью света – c. Очевидно также, что с точки зрения Наблюдателя соответствующие фотоны достигнут концов своих отрезков D и B одновременно. При этом вследствие релятивистского сокращения Наблюдатель видит движущийся отрезок сокращенным или как бы в отдалении. В последнем случае отрезок виден под некоторым углом и его кажущаяся линейная длина сокращается до размеров A`B`. Тем не менее фотон, движущийся вдоль этого отрезка достигнет второго конца одновременно с собственным фотоном Наблюдателя. Следовательно, для Наблюдателя скорость фотона относительно отрезка A`B` будет казаться меньше скорости света – c`.

На рисунке отрезки расположены параллельно друг другу и в виде дуг. Это сделано только для наглядности. На самом деле отрезки находятся на одной линии и, разумеется, непосредственно Наблюдатель не может видеть, как фотон движется вдоль движущегося отрезка, поскольку он обычно находится с ним на одной линии (движения). Аналогичную картину видит и Наблюдатель, находящийся в системе движущегося отрезка.

Рассмотрим механизм сокращения отрезка на другом рисунке, состоящем из трех кадров.



В момент, когда концы A и E отрезков совместились (кадр 1), из них излучаются по фотону в сторону других концов отрезков. Очевидно, что оба фотона на всем протяжении пути будут лететь рядом друг с другом (кадр 2), поэтому на рисунке они показаны как один фотон: они оба совмещены в одну точку. Когда каждый из фотонов достигнет конца своего отрезка, то оба конца отрезков D и B также совместятся (кадр 3).

Несложно увидеть на этом рисунке своеобразную плоскость – четырехугольник ABDE, который на самом деле с позиций СТО является прямоугольником, который виден нам (со стороны читателя) в пространственной перспективе. Если переместиться в движущуюся систему, то наблюдатель окажется с обратной стороны прямоугольника (с тыльной стороны листа или с обратной стороны экрана монитора). В этом случае картинка станет зеркальной и движущийся отрезок поменяется местами с неподвижным. Можно заметить, что существует еще одна позиция, с которой оба отрезка оказываются равноправными и… неподвижными относительно друг друга. Это позиция над плоскостью прямоугольника. С точки зрения этого наблюдателя оба отрезка оказываются неподвижными, то есть он словно бы находится одновременно в обоих системах. В этой «надсистеме» оба отрезка одновременно покоятся. Куда при этом «делось» относительное движение отрезков со скоростью v? Очевидно, эта скорость «воплотилась» в расстояние между отрезками в координатах «надсистемы». Чем больше v, тем больше расстояние в этой системе между отрезками. По всей видимости координаты этой «надсистемы» не X, Y и Z, а X и v.

Таким образом наблюдаемый эффект взаимного (относительного) лоренцева сокращения длин отрезков можно свести к доступному с позиции здравого смысла механизму.

Лоренцево отставание часов и здравый смысл

Выше было отмечено, что противоречия во взаимном отставании часов нет. Однако сам факт рассмотрения этого обстоятельства говорит о том, что взаимное отставание все-таки создает ощущение противоречия. Приведенные доводы обоснованны, но необходимо отметить: сравниваются всегда разные часы. Пожалуй, единственный бесспорный ответ можно было бы получить, сравнив друг с другом одни и те же часы в момент их совмещения и через некоторое время после разнесения, вновь их совместив. Однако это невозможно принципиально, поскольку требует изменения относительной скорости, то есть ускоренного движения. Эта принципиальная невозможность в рамках СТО сопоставить двое исследуемых часов делает систему из двух часов разомкнутой, несопоставимой, и вопрос о том, какие же все-таки часы отстают, вообще не может ставиться. Эти двое часов – *две разные системы*, два разных мира, между которыми возможно только однократное непосредственное взаимодействие, что не позволяет измерить *интервал*. Таким образом для определения отставания между двумя конкретными часами имеется только одна точка отсчета (либо начало, либо окончание), поэтому любое отставание является косвенным, что не может быть основанием не только для парадокса, но и для просто противоречия.

Однако можно предположить, что вследствие симметрии эти часы при непосредственном двукратном сопоставлении должны были бы показать одно и то же время: сравниваемая пара часов идет синхронно. Разумеется, это не опровергает формулы Лоренца, напротив, свидетельствует о действительном равноправии относительного движения, но говорит об условности, формальности показаний часов.

Магия преобразований Лоренца

Если разнесенные на некоторое расстояние синхронные часы привести в движение навстречу друг другу с одинаковыми параметрами движения (ускорением), то все изменения, произошедшие в каждой из систем будут одинаковыми. Тем не менее при последующем движении часы будут отставать друг относительно друга, а в момент встречи, вследствие симметрии, будут показывать одинаковое время. Получается, что часы, которые движутся издалека, в момент разгона установлены в… будущее!

Рассмотрим это на примере. Два одинаковых поезда движутся навстречу друг другу. В момент, когда поравняются их локомотивы, все часы в поездах устанавливаются в нулевые показания (в рамках своих ИСО). При этом для наблюдателей в хвостовых вагонах поездов часы хвостового вагона другого поезду будут установлены в будущее. Например, в поезде А часы в хвостовом вагоне сброшены в ноль, но по мнению наблюдателя в этом вагоне часы в хвостовом вагоне поезда В будут установлены в «будущее», например, в показания 60 минут. И наоборот. В процессе сближения часов они будут взаимно отставать и при встрече их показания сравняются.

При этом известно, что все часы в момент начала отсчета действительно были сброшены в нулевые показания. Как отмечено, мы не можем дважды совместить двое относительно движущихся часов. Но показания часов можно сравнить двояко: не только расположив часы рядом, но и сняв показания с разнесенных на расстояние часов мгновенно. Рассмотрим несколько способов.

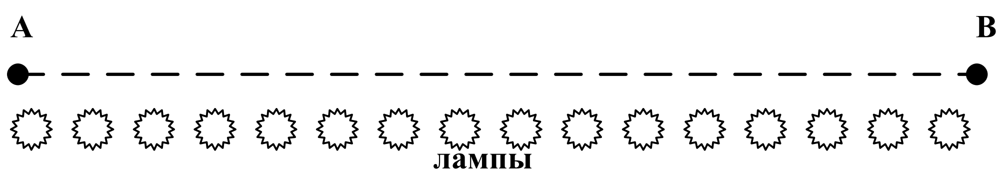
Мгновенный телеграф

Воспользуемся фантастическим мгновенным (сверхсветовым) телеграфом. В момент сброса показаний часов телеграфируем в хвостовой вагон другого поезда, откуда получаем ответ с показаниями часов в этом вагоне. Вне всякого сомнения, ответ будет содержать нулевые показания часов. Чтобы убедиться в этом, используем дополнительную третью систему, движущуюся с половинной скоростью. В этой системе оба поезда движутся с одинаковой скоростью относительно нее, поэтому все процессы в них происходят строго симметрично. Когда в вагонах будут сброшены часы в нулевые показания, то наблюдатели в неподвижной системе увидят показания часов в хвостовых вагонах, которые равны нулю. В этот самый момент будет отправлен сигнал из одного вагона в другой и, очевидно, будет мгновенно зафиксирован в нем в тот момент, когда в этом вагоне часы показывают нулевое время: как с точки зрения этого вагона, так и с точки зрения неподвижной системы. И вновь в тот же самый момент будет отправлено ответное сообщение с показаниями часов, которые, как отмечено, равны нулю. Таким же точно образом первоначальный отправитель получит это сообщение и убедится, что показания его собственных часов и часов удаленного вагона равны нулю. Формулы Лоренца, как известно, предсказывают иной результат.

Причиной расхождения является эффект «путешествия в прошлое», к которому приводит мгновенная передача информации. Такой эксперимент в принципе осуществим с реальным, а не фантастическим устройством.

Сверхсветовая скорость движения светового фронта (тени)

Известен эффект сверхсветового перемещения тени от объекта (или светового «зайчика»). Считается, что этот эффект нельзя использовать для передачи информации. Однако это явление можно использовать для синхронизации. Рассмотрим экспериментальную установку:



Вдоль линии движения вагонов А и В установлены лампы. В некоторый момент времени лампы включаются по часам неподвижной системы с некоторым интервалом. Например, первая лампа включается в 0 часов, а последняя – в 0 часов 1 секунду. Остальные лампы включаются с равномерным интервалом. Очевидно, что возникнет световой фронт, который пройдет весь путь от первой лампы до последней за 1 секунду независимо от общей длины цепочки ламп. Если эта цепочка имеет длину в 1 световую минуту, то скорость светового фронта будет в 60 раз выше скорости света. Аналогичный принцип имеет устройство теневого сверхсветового фронта. Очевидно, что передать информацию произвольного содержания таким сигналом невозможно. Но в нашем примере возможна синхронизация удаленных движущихся объектов.

Передадим сверхсветовой импульс от А к В. По этому сигналу в А и В часы сбрасываются в нулевые показания. Очевидно, что с точки зрения А часы в В будут установлены в «будущее» и наоборот. В обоих точках А и В по этому импульсу будут записаны показания часов и в момент встречи сравнены: они будут равны нулю. Таким образом реально осуществленная сверхсветовая передача импульса в рамках СТО интерпретируется как возможность путешествия в прошлое, поскольку полученный в А и В сигнал несет информацию о фактических показаниях удаленных часов в момент сброса собственных часов. Но по формулам Лоренца в момент совмещения А и В будет получен иной результат.

Квантовая телепортация

Воспользуемся эффектом квантовой телепортации (квантовой корреляцией запутанных частиц). Как утверждается, коллапс волновой функции запутанных частиц происходит мгновенно на любом расстоянии. Однако в настоящий момент признано, что передача информации с помощью телепортации возможна только с использованием традиционных (досветовых) каналов связи. Кроме того имеются существенные ограничения как по сроку передачи, так и по расстоянию, поскольку время жизни запутанных частиц незначительно. Тем не менее попробуем использовать небольшую лазейку - «локационную» передачу информации. Суть ее состоит в следующем.

Со стороны В телепортируется серия частиц. На принимающей стороне А неизвестно, какое именно унитарное преобразование необходимо произвести над полученной частицей (отсутствует информация по традиционному каналу связи), поэтому всегда производится одно и то же преобразование. Очевидно, что телепортированная частица будет иметь в этом случае переданное состояние как минимум в четверти от всех случаев. Тем не менее все полученные частицы телепортируются обратно. Поскольку на стороне В также неизвестно, какое именно унитарное преобразование необходимо произвести над полученной частицей, правильно возвращенных частиц также будет еще в четыре (не более) раза меньше. То есть процент «возврата» составляет не ниже 1\16 без учета других помех.

Такая величина «полезного сигнала» достаточно высока, чтобы можно было судить об успешно «отраженном сигнале». Если на передающей стороне В известно состояние передаваемых частиц, то наличие в возвращенном потоке числа совпадений порядка 1\16 и выше можно рассматривать как достоверный «отраженный сигнал». Но это лишь «отраженный сигнал», то есть информация о том, что отправлено однобитовое сообщение, оно получено и отправлено обратно. При этом «получатель» сигнала никакой информации не получает.

Это явление можно назвать «квантовой локацией» на основе телепортации с использованием квантовой корреляции запутанных частиц. Такой «квантовый локатор» позволяет осуществить требуемую в нашем эксперименте синхронизацию часов и убедиться в одном из двух обстоятельств:

1.Удаленные часы установлены в те же нулевые показания, что и собственные часы, следовательно, формула Лоренца не отражает реальности.

2.Формулы Лоренца верны, но возможно путешествие в прошлое.

Квантовый коллапс

В работе по экспериментальному определению времени коллапса волновой функции получены результаты о сверхсветовой скорости этого процесса. Две запутанные частицы переходят в собственные состояния со скоростью на семь порядков превышающей скорость света [2]:

«This sets a lower bound on the speed on quantum information to 10^7c, i.e. seven orders of magnitude larger than the speed of light».

Установлен нижний предел скорости квантовой информации в 10^7с, то есть на семь порядков выше скорости света.

«Bob could, by switching on and off the wheel, send signals back to the source at superluminal speed».

Включая и выключая вращение колеса, Боб мог посылать сигналы назад источнику со сверхсветовой скоростью.

Не подвергая анализу и критике полученные выводы, просто отметим, что авторы делают вывод о возможности реальной сверхсветовой скорости передачи информации. Этот эффект также может быть использован для проверки показаний часов в движущихся системах.

Гравитационные волны

Существование гравитационных волн было предсказано общей теорией относительности. В настоящее время эспериментального подтверждения существование волн не получило. Механизм их использования и просто регистрации также не определены. В работе [1] приводятся доводы в пользу сверхсветовой скорости распространения гравитационного взаимодействия. В частности, такой вывод делается из того обстоятельства, что в случае световой скорости распространения гравитационного взаимодействия планетарные системы становятся неустойчивыми:

«It would act continuously, but would tend to speed the Earth up rather than slow it down because gravity is attractive and radiation pressure is repulsive. Nonetheless, the net effect of such a force would be to double the Earth's distance from the Sun in 1200 years».

При этих условиях, «влияние такой силы должно было бы удвоить расстояние Земли от Солнца через 1200 лет». Расчеты и анализ автора приводят его к заключению:

«Conclusion: The speed of gravity is >= $2x10^{10}$ c»,

то есть скорость гравитации больше или равна $2x10^{10}$ с. Теоретически можно использовать и эти сверхсветовые взаимодействия для проверки показаний часов в движущихся системах.

Все приведенные явления с одной стороны ставят под сомнение один из постулатов СТО о предельной скорости передачи сигнала, а с другой стороны тем самым приводят к возникновению противоречий в расчетах по формулам

Лоренца. Они не являются доказательством ложности кинематической части СТО и формул Лоренца, которые являются бесспорными, а лишь ставят под вопрос правомерность неограниченного распространения математики СТО на физическую реальность.

«Эйнштейн, ты не прав»

Кинематическую часть математики СТО (преобразования Лоренца) без преувеличения можно назвать изящной. Хотя часто утверждается, что она является сложной, но в общем это не так. В части преобразований Лоренца – это красивая, верная и едва ли не самая простая из физических теорий. Тем не менее попытки ее опровержения не прекращаются и стало уже почти традиционным заявление «Эйнштейн, ты не прав» [9, 3, 10, 5]. Хотя эти заявления при рассмотрении оказываются не убедительными, тем не менее действительно есть утверждения Эйнштейна, вызывающие возражения. В работе «К электродинамике движущихся тел» [12] сформулирована следующая теорема:

«Если в точке A находятся двое синхронно идущих часов и мы перемещаем одни из них по замкнутой кривой с постоянной скоростью до тех пор, пока они не вернутся в A (на что потребуется, скажем, t сек), то эти часы по прибытии в A будут отставать по сравнению с часами, остававшимися неподвижными…» [12, с.19]

Очевидно, что на отставание часов влияет только скорость вдоль линии, соединяющей часы, и эта скорость никак не может быть постоянной – обязательно будут присутствовать участки ускоренного движения. В этом случае возникают эффекты, которые были описаны лишь много лет спустя. Все эти явления рассматриваются в рамках «парадокса близнецов», который и возник из этой теоремы.

Другой пример (предсказание) Эйнштейна, очевидно, вообще не соответствует действительности:

«…можно заключить, что часы с балансиром, находящиеся на земном экваторе, должны идти несколько медленнее, чем точно такие же часы, помещенные на полюсе, но в остальном поставленные в одинаковые условия». [12, с.20]

Во-первых, между описанными часами отсутствует относительное движение, поэтому формулы Лоренца заведомо дают нулевое расхождение в показаниях часов. Во-вторых, часы, помещенные на земном экваторе, находятся, очевидно, в условиях с более низким гравитационным потенциалом, чем часы на полюсе. Поэтому идти медленнее должны часы на полюсе, а не на экваторе.

Подобия преобразований Лоренца для псевдо-СТО

Математика СТО получена как решение некоторой пространственной задачи. Очевидно это правильное решение. Но является ли оно единственным? Рассмотрим движение только по одной координате. В этом случае интервал вычисляется как простая сумма (рассматриваем движение из начала координат с нулевых показаний часов, поэтому t, x – это и координаты и интервалы одновременно):

$$ct = x,$$

откуда получаем интервал s:

$$s = ct - x.$$

Традиционно приравниваем интервалы для двух систем и расширяем область этого равенства на ненулевые значения интервалов:

$$ct` - x` = ct - x$$

откуда:

$$ct`(1 - x`/ct`) = ct - x$$
$$t`(1 - x`/ct`) = t - x/c$$
$$t` = (t - x/c)/(1 - x`/ct`),$$

откуда окончательно получаем:

$$t` = \frac{t - \frac{x}{c}}{1 - \frac{u}{c}}$$

Соотношение между координатами запишем, просто используя аналогию с оригинальной формулой Лоренца. В результате получаем формулы псевдо-преобразований Лоренца (преобразования Лоренца для псевдо-СТО):

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

Сравнивая полученные формулы с формулами Лоренца, мы обнаружим очевидное внешнее сходство. Однако можно заметить, что обратное преобразование невозможно, то есть нарушен принцип относительности. Поэтому изменим вид формул произвольно, интуитивно, стремясь обеспечить возможность такого преобразования:

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

Теперь попробуем произвести обратные преобразования для полученных формул, чтобы убедиться, что принцип относительности остается в силе:

$$t`\sqrt{1 - \frac{u}{c}} = t - \frac{x}{c}, \quad x`\sqrt{1 - \frac{u}{c}} = -ut + x$$

Подставим в первое выражение x из второго выражения:

$$t`\sqrt{1 - \frac{u}{c}} = t - \frac{1}{c}\left[x`\sqrt{1 - \frac{u}{c}} + ut\right],$$

Соберем слагаемые, содержащие t, в левой части:

$$t - \frac{ut}{c} = t`\sqrt{1 - \frac{u}{c}} + \frac{x`}{c}\sqrt{1 - \frac{u}{c}},$$

Отсюда получаем:

$$t - \frac{ut}{c} = t`\sqrt{1 - \frac{u}{c}} + \frac{x`}{c}\sqrt{1 - \frac{u}{c}}$$

После деления на радикал получаем:

$$t = \frac{t` + \frac{x`}{c}}{\sqrt{1 - \frac{u}{c}}}$$

Как видим, обратное преобразование по времени осуществлено. Аналогично проверяем формулу для координаты:

$$t`\sqrt{1 - \frac{u}{c}} = t - \frac{x}{c}, \quad x`\sqrt{1 - \frac{u}{c}} = -ut + x$$

Подставим во второе выражение t из первого выражения:

$$x`\sqrt{1 - \frac{u}{c}} = -u(t`\sqrt{1 - \frac{u}{c}} + \frac{x}{c}) + x,$$

откуда:

$$x`\sqrt{1 - \frac{u}{c}} = -ut`\sqrt{1 - \frac{u}{c}} - \frac{ux}{c} + x,$$

и далее:

$$x - \frac{ux}{c} = x`\sqrt{1 - \frac{u}{c}} + ut`\sqrt{1 - \frac{u}{c}}.$$

Также делим на радикал и после преобразования получаем:

$$x = \frac{ut` + x`}{\sqrt{1 - \frac{u}{c}}}$$

Таким образом мы убедились, что формулы взаимно преобразуемы, то есть принцип относительности сохранен. Однако дальнейшее сходство с формулами Лоренца несколько ограничено. Рассмотрим формулу для сложения скоростей. Если объект движется в движущейся системе, то приращения времени и координаты для него относительно неподвижной системы равны:

$$dt = \frac{dt` + \frac{dx`}{c}}{\sqrt{1 - \frac{u}{c}}}; \qquad dx = \frac{udt` + dx`}{\sqrt{1 - \frac{u}{c}}}$$

Скорость этого объекта относительно неподвижной системы, соответственно, равна:

$$\frac{dx}{dt} = \left(\frac{udt` + dx`}{\sqrt{1 - \frac{u}{c}}}\right) \Bigg/ \left(\frac{dt` + \frac{dx`}{c}}{\sqrt{1 - \frac{u}{c}}}\right),$$

откуда получаем:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{udt` + dx`}{dt` + \frac{dx`}{c}}$$

После деления на dt` в правой части получаем псевдо-лоренцеву формулу сложения скоростей:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{udt` + dx`}{dt` + \frac{dx`}{c}} = \frac{u + \frac{dx`}{dt`}}{1 + \frac{dx`}{dt`c}},$$

и окончательно:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{u + u`}{1 + \frac{u`}{c}},$$

Как видим, полученная формула сложения скоростей также отличается от формулы Лоренца. Однако это отличие состоит не только во внешнем виде формулы, отличие здесь принципиальное: одна из скоростей фактически становится приоритетной. Вместе с тем, очевидно, что в целом эта формула отвечает поставленным начальным условиям: суммарная скорость также не превышает скорости света.

Исследуя эти формулы, мы также получим эффекты, подобные релятивистским: относительность одновременности, отставание хода часов и сокращение длины движущегося отрезка.

1^o. Сокращение продольных размеров движущихся тел в псевдо-СТО

Пусть на оси X` в инерциальной системе S` покоится стержень длиной l. Обозначим абсциссы концов этого стержня через $x`_1$, x'_2. Тогда

$$x'_2 - x`_1 = l.$$

Абсциссы $x`_1$, $x'_2$ остаются постоянными, но t` мы считаем переменным, т.е. рассматриваем существование стержня во времени.

Относительно системы S этот стержень вместе с системой S` движется со скоростью v в направлении оси X, вдоль которой он расположен.

Попробуем измерить длину нашего стержня относительно системы S. Ввиду того что он движется, нужно зафиксировать положение его концов в какой-либо определенный (один и тот же!) момент времени t, а затем найти расстояние между отмеченными точками. Пусть абсциссы этих точек будут x1, x2. Тогда согласно второй формуле абсциссы концов стержня в системе S` выразятся следующим образом:

$$x_1' = \frac{-ut + x_1}{\sqrt{1 - \frac{u}{c}}}, \quad x_2' = \frac{-ut + x_2}{\sqrt{1 - \frac{u}{c}}}.$$

Вычитая почленно из второй формулы первую и учитывая, что t имеет в обоих случаях одно и то же значение, получаем:

$$x_2' - x_1' = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - \frac{u}{c}}}$$

Обозначим длину отрезка с точки зрения системы S через l`:

l` = $x_2 - x_1$,

получаем:

$$l = \frac{l`}{\sqrt{1 - \frac{u}{c}}}, \qquad \text{т.е. } l` = l\sqrt{1 - \frac{u}{c}}$$

Таким образом, стержень, имеющий длину l в той инерциальной системе, где он покоится, имеет длину $l\sqrt{1 - \frac{u}{c}}$ *в той инерциальной системе, относительно которой он движется со скоростью v в продольном направлении.*

2°. Относительный характер одновременности в псевдо-СТО

Пусть на оси X в инерциальной системе S происходят два события в точках x_1, x_2 в один и тот же момент времени $t_1 = t_2 = t$. Отметим моменты совершения этих событий $t`_1$, $t`_2$ в системе S`. Согласно первой формуле получаем:

$$t`_1 = \frac{t - \frac{x_1}{c}}{\sqrt{1 - \frac{u}{c}}}, \qquad t`_2 = \frac{t - \frac{x_2}{c}}{\sqrt{1 - \frac{u}{c}}}.$$

Мы отмечаем, что $t`_1 <> t`_2$, а именно:

$$t`_2 - t`_1 = \frac{x_1 - x_2}{c\sqrt{1 - \frac{u}{c}}}.$$

Таким образом, два события, одновременных относительно S, оказываются разновременными относительно S`.

3°. Отставание движущихся часов *в псевдо-СТО*

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 первой формуле

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

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

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

Вычитая почленно, получаем:

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

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 $\sqrt{1 - \frac{u}{c}}$. Таким образом, движущиеся часы начинают отставать, ход их замедляется в отношении $\sqrt{1 - \frac{u}{c}}$.

Итак, как видим, существуют формулы, подобные лоренцевым и отвечающие постулатам СТО. Возможно существуют подобные формулы на основе, например, радикала вида $\sqrt{1 - \frac{u^4}{c^4}}$. Очевидно, однако, что все они дают иные результаты расчетов движения, которые тоже не соответствуют экспериментальным данным. Решение, предложенное Эйнштейном (Лоренцем) является не единственным решением для постулатов СТО, но единственно правильным для реального мира.

Выводы

1. Кинематическая часть СТО и преобразования Лоренца строго доказаны и их справедливость в области применимости теории не может подвергаться сомнению.
2. Логические рассуждения и разнообразные «мысленные эксперименты» ставят под сомнение правомерность полного отождествления СТО как теории с физической реальностью. Однако имеющиеся доказательства такой правомерности (например, [11]) можно признать более убедительными.
3. Кинематика СТО является решением некоторой пространственной задачи, которая имеет и другие СТО-подобные (псевдо) решения, полностью отвечающие ее постулатам и свойствам. Однако только выводы СТО в наибольшей степени соответствуют реальным процессам.
4. Парадоксы СТО следует отнести к парадоксам ее интерпретации, поскольку возникают они только при нарушении границ ее применимости (ее постулатов). При этом нарушение постулата о предельной скорости взаимодействия пока не может быть признано доказанным.
5. В части преобразований Лоренца выводы СТО могут очевидным образом интерпретироваться с позиций так называемого здравого смысла. Никаких противоречий и парадоксов относительности процессов в равноправных системах при этом не возникает.

Литература

1. Tom Van Flandern, The Speed of Gravity - What the Experiments Say. Meta Research, Univ. of Maryland Physics, Army Research Lab 6327 Western Ave., NW / Washington, DC 20015-2456 **(metaresearch.org)**, 1998.
2. Zbinden H., Brendel J., Gisin N., Tittel W., Experimental test of non-local quantum correlation in relativistic configurations, Group of Applied Physics, University of Geneva, February 7, 2006 (2000)
3. Крейдик Л.Г., Квалитативно-квантитативные основы диалектической логики и диалектической философии. Приложение теории на практике. 15.2. Ошибочные преобразования Лоренца-Эйнштейна, "закон" сложения скоростей и одновременность-неодновременность событий, ЖТДФМ, №1; http://www.dialectical-physics.org/a01/10/ru/a0110ru.htm
4. Ландау Л.Д. и Лифшиц Е.М., Теоретическая физика в десяти томах, т.II Теория поля. – М., «Наука», 1988.
5. Мамаев А.В., НТО, 2006 г., http://www.acmephysics.narod.ru/
6. Пановский В., Филипс М., Классическая электродинамика, Пер.с англ. В.П.Быкова, под ред. С.П.Капицы, М., Физматгиз, 1963г.
7. Паршин Д.А., Зегря Г.Г., Курс общей физики. Часть 3, Лекция 25, http://www.ioffe.org/register/?doc=physica2/lect25.tex
8. Рашевский П.К., Риманова геометрия и тензорный анализ. – М., «Наука», 1967.
9. Савин Ю., Эйнштейн, ты не прав!, http://timer.narod.ru/sto.html
10. Сазонов А.Ф., Физика без парадоксов, Дубна, «Феникс», 2003. http://phoenix.dubna.ru/el-bib/sazonov/saz-html/saz-www.htm
11. Фриш С.Э., Опытное подтверждение формул Лорентца—Эйнштейна, УФН, том III, выпуск 1, 1922, http://www.ufn.ru/archive/russian/Index22.html
12. Эйнштейн А., «К электродинамике движущихся тел». /Перевод, 1905.
13. Элементы специальной теории относительности. Учебное пособие. – Тольятти, ТПИ, 1999.