

О НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМАХ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ КОНЦЕПЦИИ ВРЕМЕНИ

И.В. Бузмаков

Россия, Новосибирск

E-mail: i-buzmakov@mail.ru

Аннотация: В статье рассматривается концепция физического времени теории относительности Эйнштейна; проводится исследование неоднозначности (относительности) релятивистского эффекта замедления времени на объектах, находящихся в состоянии относительного движения, а также релятивистского соглашения об одновременности; анализируется влияние этих эффектов на логически непротиворечивое описание времени и его причинно-следственную анизотропию.

Ключевые слова: теория относительности, синхронизация часов, замедление времени, относительность одновременности, причинность, преобразования Лоренца, преобразования Галилея.

Abstract: The article discusses the concept of physical time of Einstein's theory of relativity; a study of ambiguity (relativity) of the relativistic effect of time dilation on objects in a state of relative motion, as well as an agreement on a relativistic simultaneity; analyzes the impact of these effects on the logically consistent description of time and its causal anisotropy.

Keywords: theory of relativity, the clock synchronization, time dilation, the relativity of simultaneity, causality, Lorentz transformation, transformation of Galileo.

Введение.

Математическая безупречность любой теории ничего не говорит о ее истинности. Вот как об этом, применительно к геометрии, пишет Рейхенбах [Г. Рейхенбах, 1985, с.22]:

«Если математик не связан использованием определенной системы аксиом и может применять аксиому не- a точно так же, как и аксиому a , тогда утверждение a не относится к математике, а математика есть не что иное, как наука об импликациях, то есть об отношениях типа «если ..., то ...». Следовательно, для геометрии как математической науки не существует проблемы истинности ее аксиом ... Аксиомы не являются ни истинными, ни ложными, а лишь произвольными утверждениями».

Теория относительности построена чисто математически на двух постулатах (аксиомах или принципах), поэтому, если мы считаем эти постулаты верными, то обязаны считать верной и всю теорию. Однако, без дополнительных допущений признать постулаты теории относительности верными мы не можем, т.к. они взаимно противоречивы. Только допущение относительности времени устраняет их противоречивость [Я.П. Терлецкий, 1966, с.18]. Этот факт отмечал уже сам Эйнштейн [А. Эйнштейн, 1965, Т.1, с.418]:

«Оказывается, что принцип постоянства скорости света и принцип относительности противоречат один другому только до тех пор, пока сохраняется постулат абсолютного времени, т.е. абсолютный смысл одновременности. Если же допускается относительность времени, то оба принципа оказываются совместимыми; в этом случае, исходя из этих двух принципов, получается теория, называемая «теорией относительности».

Таким образом, допущение относительности времени, так сказать, «склеивает» исходно несовместимые постулаты теории относительности. Общий подход к такой «склейке» заключается в следующем. Скорость (как и многие другие физические величины) не может быть измерена непосредственно, она может быть только вычислена как отношение длины пройденного отрезка пути к затраченному на это времени. Очевидно, что результат измерения времени, зависит от применяемой модели времени. Более того, и результат измерения длины зависит от применяемой модели времени, т.к. в движущейся системе отсчета она определяется посредством *одновременного* прикладывания измерительной линейки к началу и концу отрезка. Это означает, что при соответствующем «подборе» модели времени можно получить «нужную» зависимость скорости объекта от скорости системы отсчета, в которой анализируется его движение. Именно таким способом теория относительности добивается совместимости своих постулатов. Она декларирует такую модель времени, которая обеспечивает для одного и того же фотона одинаковую скорость сразу во всех инерциальных системах отсчета [А. Грюнбаум, 1969, с.454-455]. Следует отметить, что такая «склейка» делает невозможной прямую экспериментальную проверку постулатов теории, цитата [А.А. Тяпкин, 1972, УФН, Т. 106, вып. 4, с.619]:

«На самом же деле возможность принять *в каждой системе отсчета* равенство скоростей света для противоположных направлений действительно зависит от свойств реального мира, в частности, от того факта, что в природе отсутствует мгновенная передача действий. Но принять это положение, в случае его допустимости, по мнению Пуанкаре, можно только в качестве соглашения, так как эксперимент в равной степени может быть согласован и с противоположным предположением о неравенстве этих величин».

Ввиду того, что исходная противоречивость аксиом теории относительности устранена за счет модификации модели времени, – полученную в результате новую модель, на наш взгляд, стоит проанализировать на предмет отсутствия в ней внутренних противоречий.

Релятивистское замедление времени – методологический эффект?

Как известно, согласно специальной теории относительности (СТО), в (условно) движущейся системе отсчета, по сравнению с (условно) неподвижной, время замедляется [А. Эйнштейн, 1965, Т.1, с.185; М. Борн, 1972, с.250]. Оговорка «условно» добавлена здесь ввиду того, что речь идет об инерциальных системах отсчета, поэтому за неподвижную может быть выбрана любая из них. Далее эту оговорку мы будем опускать, тем не менее всегда ее подразумевая.

Наиболее наглядно этот эффект проявляется в так называемом «Парадоксе близнецов» [М. Борн, 1972, с.248-251; Л. Мардер, 1974, с. 82-84].

Вывод о замедлении времени в движущейся системе отсчета по сравнению с неподвижной вытекает из сравнения промежутков физического (в формулировке Эйнштейна [А. Эйнштейн, 1965, Т.1, с.149-150]) или собственного (в формулировке Борна [М. Борн, 1972, с.244]) времени между двумя одними и теми же пространственно-временными событиями, измеренными часами этих систем отсчета. Причем эти пространственно-временные события выбираются так, что в неподвижной системе отсчета они происходят в разных пространственных точках, а в движущейся – в одной и той же. Таким образом, время в неподвижной системе отсчета измеряется парой разноместных часов этой системы, а в движущейся системе – ее единственными часами, и потом эти измерения сравниваются. То есть процедура сравнения выглядит следующим образом: единственные часы движущейся системы отсчета сначала пролетают над первыми часами неподвижной системы отсчета и сверяют с ними свои показания, после чего эти же движущиеся часы пролетают над вторыми часами неподвижной системы отсчета, и сверяют свои показания со вторыми часами. Такая процедура сравнения темпов хода часов в теории относительности является, так сказать, «стандартной». Сравнить показания единственных часов в обоих инерциальных системах отсчета невозможно, т.к. единственные часы одной системы отсчета могут встретиться с единственными часами другой системы отсчета только один раз. Нетрудно заметить, что условия проведения измерений в разных системах отсчета различны. Причем известно, что именно этому различию, и только ему, обязано своим происхождением утверждение о замедлении времени в движущейся системе отсчета [Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц, 1988, с.23]. Очень доступно данный факт был описан доктором физико-математических наук, профессором физического факультета МГУ А.А. Тяпкиным, в его работе «Выражение общих свойств физических процессов в пространственно-временной метрике специальной теории относительности» [А.А. Тяпкин, 1972, УФН, Т. 106, вып. 4, с. 644], цитата:

«В действительности в специальной теории относительности речь идет о сопоставлении интервала времени, прошедшего в одной точке какой-либо системы отсчета, с разностью времен, прошедших в разных точках другой системы отсчета... Взятые в единственном числе часы в определенной точке какой-либо системы отсчета, всегда отстают от совместных показаний пары синхронизированных часов другой системы».

Это означает, что если для сравнения отрезков времени, прошедших в разных системах отсчета, выбрать пару таких событий, что в неподвижной системе отсчета они будут фиксироваться единственными часами (события происходят в одной и той же точке неподвижной системы отсчета), то разность их показаний будет меньше, чем разность показаний пары часов движущейся системы отсчета. То есть в данном случае мы получим, что время в движущейся системе идет быстрее, а не медленнее.

Действительно, пусть штрихованная система отсчета движется вдоль оси x со скоростью V (все оси координат сонаправлены). Тогда, согласно теории относительности, ее временны́е координаты связаны с координатами нашей, неподвижной системы отсчета преобразованиями Лоренца:

$$\Delta t' = \gamma(\Delta t - V \cdot \Delta x / c^2)$$

где: $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$; $\beta = V/c$; c – скорость света.

Если в нашей, неподвижной, *не* штрихованной системе отсчета события, между которыми мы измеряем промежуток времени, происходят в одной и той же точке, то есть время между ними измеряется единственными часами, то $\Delta x = 0$ и из второго уравнения сразу имеем:

$$\Delta t' = \Delta t \cdot \gamma$$

Это означает, что по часам движущейся, штрихованной системы отсчета между событиями прошло время в γ раз большее (γ всегда больше 1), чем по часам неподвижной. То есть результат сравнения темпов хода времени в разных системах отсчета зависит от методики проведения измерений, а не от того, какая система отсчета выбрана неподвижной.

«Стандартная» релятивистская методика использует вариант, когда для сравнения темпов хода времени выбирается пара событий, являющихся одноместными для движущейся системы отсчета. Соответственно, интервал времени в движущейся системе измеряется ее единственными часами, а в неподвижной – парой разноместных часов. Такой выбор обусловлен тем, что с точки зрения любого из наблюдателей разноместные часы другой системы отсчета идут не синхронно [Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс, 1965, с.17; В.А. Угаров, 1977, с.68-69; В.А. Фок, 1961, с.62]. Наблюдатель первой системы отсчета считает неподвижным себя, поэтому с его точки зрения наблюдатель второй системы отсчета не верно измеряет промежуток времени между двумя событиями, если использует при этом разноместные часы, но свои измерения по разноместным часам он считает верными. Наблюдатель второй системы отсчета, наоборот, считает верными свои измерения по разноместным часам и не верными аналогичные измерения первого наблюдателя. То есть каждый из наблюдателей считает, что его коллега может измерять время только своими единственными часами. Но ведь физическое время в движущейся системе отсчета является временем движущегося вместе с этой системой наблюдателя, для которого все ее часы синхронны. Движущийся наблюдатель имеет полное право измерять время в своей системе отсчета по разноместным часам. Если мы запрещаем наблюдателю какой-либо системы отсчета пользоваться разноместными часами, то, во-первых, вступаем в противоречие с эйнштейновским определением физического времени, как множества синхронизированных часов данной системы отсчета, цитата [А. Эйнштейн, 1965, Т.1, с.150]:

«Пусть даны две системы координат S и S' , движущиеся равномерно и прямолинейно одна относительно другой. Предположим, что с каждой из этих двух систем связана группа часов, причем все часы, принадлежащие к одной и той же системе, идут в фазе. В этих условиях показания группы часов, связанной с S , определяют физическое время по отношению к системе отсчета S ; подобным же образом показания группы часов, связанной с системой отсчета S' , определяют физическое время по отношению к S' ».

А во-вторых, как уже подчеркивалось ранее, мы ставим наблюдателей в заведомо неравные условия при проведении измерений. Если же мы сделаем

условия проведения измерений идентичными, то получим равенство темпов хода времени в движущихся друг относительно друга системах отсчета, что наглядно показано в приведенном далее примере.

Пусть в голове и хвосте каждой из двух идентичных ракет A и B , имеющих собственную длину L_0 , закреплены одинаковые синхронизированные часы. Ракеты сближаются со скоростью V , двигаясь по инерции навстречу друг другу вдоль соединяющей их прямой. При встрече ракет сначала совмещаются их головные часы, а затем хвостовые (рис. 1). Назовем пространственно-временную точку встречи головных часов ракет – событием X , а точку встречи хвостовых часов – событием Y .

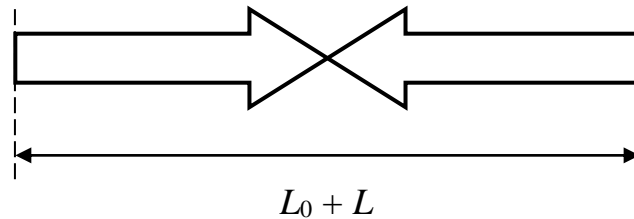


Рис. 1

Найдем, отличаются ли темпы хода физического времени ракет, измерив промежутки времени между событиями X и Y по часам каждой из ракет. По часам ракеты A (в ее системе отсчета), учитывая, что в результате Лоренцева сокращения длина ракеты B меньше и равна L , события X и Y разделены промежутком времени:

$$\Delta t_A = (L_0 + L)/V$$

Аналогично по часам ракеты B (в ее системе отсчета) те же события разделены промежутком времени:

$$\Delta t_B = (L_0 + L)/V$$

Оба эти промежутка совпадают по величине, что с очевидностью следует не только из приведенных выше равенств, но и из соображений симметрии. Сравнив результаты измерений промежутков времени, пилоты ракет убедятся, что один и тот же интервал XU имеет одинаковую длительность как по часам ракеты A , так и по часам ракеты B , значит темп хода физического времени на ракетах одинаков.

Приведенные аргументы позволяют сделать вполне обоснованное заключение о противоречивости «стандартной» релятивистской методики сравнения темпов хода времени в разных инерциальных системах отсчета. Справедливость данного заключения можно проиллюстрировать следующим простым рассуждением. Пусть имеется неподвижная круговая железная дорога сколь угодно большого радиуса. По этой дороге с постоянной по величине скоростью движется поезд (рис. 2).

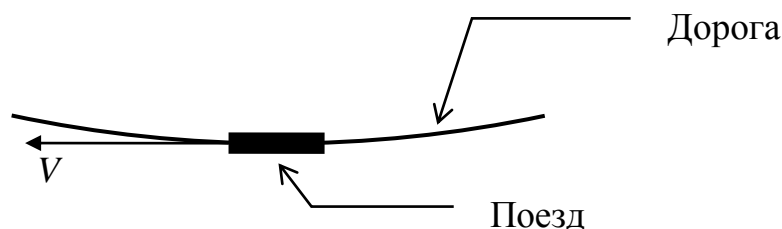


Рис. 2. Поезд движется по окружности.

Свойства пространства-времени в малой окрестности *неинерциально* движущегося наблюдателя – теория относительности задает с помощью мгновенно-сопутствующей ему инерциальной системы отсчета, где он считается временно неподвижным [Г. Рейхенбах, 1985, с.262; Мари-Антуанетт Тоннела, 1962, с.302-309; Р. Толмен, 1974, с.187-188; В.А. Угаров, 1977, с.82; Д.В. Сивухин, 2005, Т.IV, с.683; К. Мёллер, 1975, с.41]. Этот математический прием, обеспечивает принципиальную применимость СТО как физической теории, т.к. в природе нет тел, движущихся идеально равномерно и прямолинейно. Иными словами, учитывая, что *кривизна дороги сколь угодно мала*, – система отсчета, связанная с поездом, на конкретном небольшом участке пути, *сколь угодно близка к инерциальной системе отсчета*. Пассажир поезда, сравнивая показания единственных часов на дороге с парой часов на своем поезде (как того требует «стандартная» релятивистская методика), получит, что часы на дороге идут в γ раз медленнее. Однако это не верно, т.к. *для любой кривизны дороги* медленнее в γ раз будут идти часы на поезде [К. Мёллер, 1975, с.200; Мари-Антуанетт Тоннела, 1962, с.309], в чем может убедиться пассажир поезда, объехав весь круг и вернувшись к тем же часам на дороге. Причем данное противоречие устраняется только при $\gamma = 1$, т.е. при равенстве темпов хода часов на поезде и на дороге.

Относительность одновременности и принцип причинности.

Рассмотрим простой мысленный эксперимент. Пусть имеется неподвижный жесткий стержень. На одном конце этого стержня расположен излучатель фотонов, а на другом – зеркало. Вдоль прямой, на которой лежит этот стержень, движется наблюдатель со скоростью, равной половине скорости света. Наблюдатель подлетает к стержню со стороны излучателя. Когда наблюдатель и излучатель совмещаются, то излучатель испускает в сторону зеркала фотон. Фотон летит до зеркала, отражается от него и возвращается к излучателю. Наблюдатель летит ровно до середины стержня, которая отмечена флажком, быстро разворачивается и летит обратно к излучателю с прежней скоростью (Рис. 3). Для простоты условимся, что ускорение наблюдателя при развороте сколь угодно велико. Это позволит не учитывать время, затраченное наблюдателем на разворот.

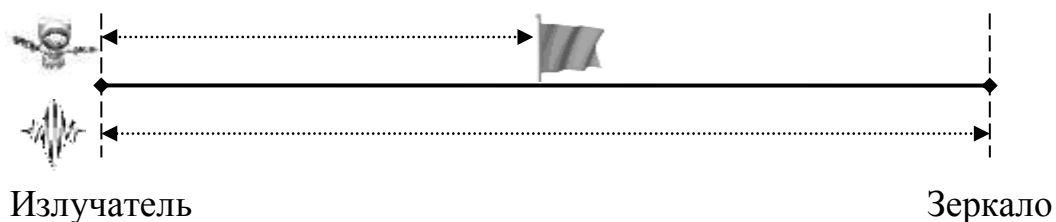


Рис. 3

По условию, скорость наблюдателя в 2 раза меньше световой, и расстояние, которое преодолевает наблюдатель, тоже в 2 раза меньше, чем расстояние, которое преодолевает фотон. Значит, наблюдатель и фотон по возвращении встретятся у излучателя. То есть вернутся к излучателю одновременно. Теперь рассмотрим ситуацию с точки зрения наблюдателя.

Сначала найдем положение фотона не за долго до встречи наблюдателя с флажком. С точки зрения наблюдателя – он покоится, а стержень движется относительно него со скоростью, равной половине скорости света. Когда излучатель совмещается с наблюдателем – в сторону зеркала испускается фотон (рис. 4).

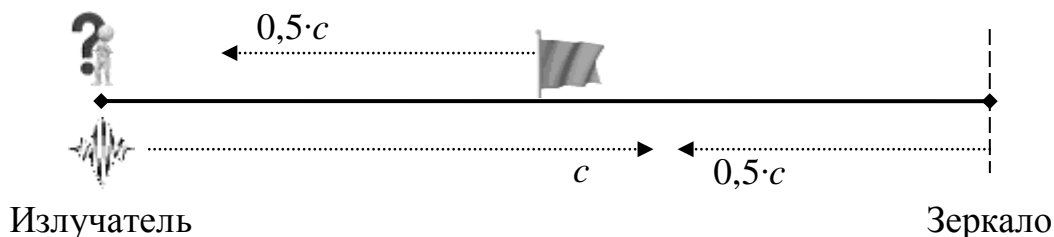


Рис. 4

Так как для наблюдателя, согласно теории относительности, скорость фотона неизменна, а зеркало движется навстречу фотону со скоростью, равной половине скорости света, то скорость сближения фотона и зеркала составляет полторы скорости света, т.е. в три раза больше скорости сближения наблюдателя и флажка, которая равна половине скорости света. Расстояние же между фотоном и зеркалом только в два раза больше расстояния между наблюдателем и флажком. Следовательно, фотон и зеркало встретятся раньше, чем наблюдатель и флажок, значит, фотон отразится от зеркала еще до встречи наблюдателя с флажком. Пусть, для наглядности, зеркало сразу же после отражения фотона самоликвидируется (взрывается). Тогда перед встречей с флажком наблюдатель уверен, что зеркало уже разбито.

Теперь посмотрим, где должен находиться фотон с точки зрения наблюдателя после разворота. Сразу после разворота наблюдатель опять вправе считать себя неподвижным. Относительно него стержень движется, но уже в обратную сторону. Теперь излучатель приближается к наблюдателю со скоростью, равной половине скорости света. И фотон, *если он уже отразился*, тоже приближается к наблюдателю (рис. 5).

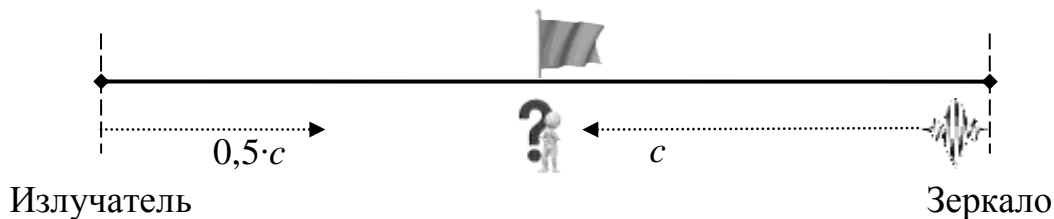


Рис. 5

Наблюдатель считает, что фотон движется со скоростью света, поэтому фотон приближается к наблюдателю в два раза быстрее, чем излучатель. Для того, чтобы фотон и излучатель встретились одновременно около наблюдателя

– расстояние между фотоном и наблюдателем тоже должно быть в два раза большим, чем между излучателем и наблюдателем, но это невозможно. *Если фотон уже отразился*, то расстояние между ним и наблюдателем будет даже меньше, чем между излучателем и наблюдателем. Следовательно, фотон еще не мог отразиться. То есть сразу после разворота, когда наблюдатель перестал испытывать что-то похожее на гравитационное поле, зеркало с его точки зрения должно быть еще цело, иначе фотон и излучатель придут к нему не одновременно.

Таким образом, расчеты наблюдателя, основанные на постулате о постоянстве скорости света, показывают, что до его встречи с флажком зеркало уже разбито, однако после встречи с флажком зеркало еще цело. В данной ситуации наш наблюдатель может сделать только два логических заключения:

1. Зеркало само собралось из осколков.
2. Его расчеты не верны.

Первое заключение ведет к нарушению принципа причинности, а второе – к нарушению принципа постоянства скорости света. Если наблюдатель не захочет отказаться от постулата о постоянстве скорости света, тогда он обязан признать, что при его развороте причинная последовательность событий, происходящих *с одним и тем же телом* (зеркалом), нарушается, что вряд ли может соответствовать действительности [Г. Рейхенбах, 1985, с.156-163]. Вот что пишет, например, А.И. Жуков в своей книге «Введение в теорию относительности» по поводу возможности нарушения последовательности причинно-связанных событий [А.И. Жуков, 1961, с.30]:

«Никакое явление не может произойти раньше своей причины. Этот закон не допускает никаких исключений; если какая-либо теория приходит с ним в противоречие, то это для нее является смертельным приговором».

Здесь мы можем услышать возражение, что при развороте – для наблюдателя меняется не «реальная» последовательность причинно-связанных событий в окрестности зеркала, а меняется «соглашение об одновременности», которое и заставляет наблюдателя считать, что последовательность этих событий изменилась. Но тогда релятивистское «соглашение об одновременности» (принцип относительности одновременности), которое приводит наблюдателя к такому заключению, нуждается в пересмотре.

Синхронизация часов на ободе вращающегося диска.

Как мы уже отмечали ранее, «время» и «одновременность» в теории относительности являются ключевыми понятиями, обеспечивающими целостность и непротиворечивость ее аксиом, но эти понятия уже не являются базовыми, они определяются с помощью еще более фундаментального для этой теории понятия – синхронно идущих часов. Вот цитата из первого тома собрания сочинений Эйнштейна, где он об этом пишет [А. Эйнштейн, 1965, Т.1, с.10]:

«Таким образом, пользуясь некоторыми (мысленными) физическими экспериментами, мы установили, что' нужно понимать под синхронно идущими, находящимися в различных местах покоящимися часами, и благодаря этому, очевидно, достигли определения понятий: «одновременность» и «время». «Время» события – это одновременное с событием показание

покоящихся часов, которые находятся в месте события и которые идут синхронно с некоторыми определенными покоящимися часами, причем с одними и теми же часами при всех определениях времени».

Следовательно, в теории относительности синхронно идущие часы являются эквивалентом понятий «время» и «одновременность». Иначе говоря, в рамках этой теории синхронно идущие часы являются математической моделью физического феномена под названием «время». Поэтому в дальнейшем мы будем анализировать синхронизацию часов, как важнейший элемент релятивистской модели времени. Разумеется, и здесь, и далее речь идет об идеализированных часах, на ход которых не влияют какие-либо физические воздействия, т.е. часы всегда отражают только ход времени [Д.В. Сивухин, 2005, Т.IV, с.683].

Способов синхронизации часов можно придумать множество, но они должны быть, как минимум, логически обоснованы. Очевидно, что самая надежная логическая основа для процедуры синхронизации – это ее *симметрия*. Прочитируем Эйнштейна, где он описывает это важнейшее и, по сути, единственное требование к процедуре синхронизации [А. Эйнштейн, 1965, Т.I, с.148]:

«Для того, чтобы получить полное физическое определение времени, необходимо сделать еще один шаг. Надо сказать, каким образом все часы были выверены в начале эксперимента. Поступим следующим образом: во-первых, найдем способ передавать сигналы, например, из *A* в *B* или из *B* в *A*. *Этот способ должен быть таким, чтобы мы были абсолютно уверены, что явления передачи сигналов из *A* в *B* нисколько не отличаются от явлений передачи сигналов из *B* в *A*.* В этом случае очевидно, что существует только одна возможность поставить часы в точке *B* по часам в *A* так, чтобы сигнал, идущий из *A* в *B*, проходил бы этот путь за то же время, измеренное с помощью этих же часов, что и сигнал, идущий из *B* в *A*».

Как следует из цитаты, условия распространения сигналов, посылаемых от часов *A* к часам *B* и обратно, должны быть абсолютно идентичны. Только уверенность в этом дает нам право считать, что времена движения сигналов «туда» и «обратно» равны, и позволяет правильно выставить время на часах *B* в соответствии с формулой [В.А. Фок, 1961, с.49]:

$$t_B = (t_1 + t_2)/2 \quad (1)$$

где t_1 – время отправления сигнала по часам *A*; t_2 – время возвращения сигнала по часам *A*; t_B – время отражения сигнала по часам *B* (рис. 6).

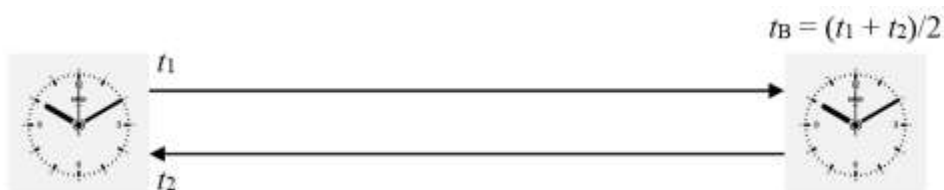


Рис. 6. Синхронизация часов по Эйнштейну

Как уже отмечалось, способов синхронизации часов можно придумать множество. Один из них, полностью эквивалентный описанному выше, но более наглядный, заключается в отправке сигналов синхронизации к обоим

часам из одной точки, равноудаленной от них [Я.П. Терлецкий, 1966, с.20; Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс, 1965, Т.II, с.17; М. Борн, 1972, с.224]. При этом часы B должны быть установлены так, чтобы показания часов A и B в момент прихода сигналов синхронизации совпадали (рис. 7). Этот способ, очевидно, тоже требует полной идентичности условий распространения сигналов синхронизации.

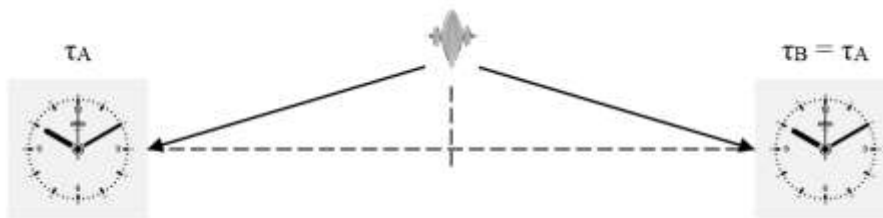


Рис. 7. Синхронизация из равноудаленной от часов точки

Здесь следует подчеркнуть, что требование идентичности условий распространения сигналов синхронизации и, как следствие, равенство соответствующих времен, не является каким-то нововведением теории относительности, оно очевидно следует из логических соображений и не вызывает никаких сомнений.

Однако, в теории относительности, такая синхронизация справедлива только для наблюдателя, неподвижного относительно синхронизируемых часов. Действительно, пусть наблюдатель инерциально движется вдоль отрезка, соединяющего синхронизируемые часы. В этом случае он имеет полное право считать себя неподвижным, и с его точки зрения движутся часы. В системе отсчета этого наблюдателя скорость световых сигналов синхронизации остается неизменной и одинаковой в обоих направлениях (согласно теории относительности), поэтому для наблюдателя времена распространения сигналов синхронизации до часов уже не равны, т.к. одни часы приближаются к сигналу, а другие – удаляются от него, что и дает наблюдателю основание считать часы A и B несинхронными. Этот эффект называется релятивистской «относительностью одновременности».

Итак, часы, синхронные в собственной инерциальной системе отсчета, где они неподвижны, – с точки зрения движущегося относительно них наблюдателя (согласно теории относительности) в общем случае идут не синхронно. Это означает, что для наблюдателя показания часов A и B отличаются. Причем, отстают часы, движущиеся с его точки зрения впереди (назовем их «головными»), т.к. к ним сигнал синхронизации приходит позже. Таким образом, *если для пассажира движущейся ракеты часы на ракете идут синхронно, то для неподвижного наблюдателя «головые» часы этой ракеты отстают от ее «хвостовых» часов* [Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс, 1965, Т.II, с.18].

Если часы движутся, например, не прямолинейно, то система отсчета, связанная с ними, уже не будет инерциальной. Пространство-время в такой системе отсчета должна описывать уже не специальная (СТО), а общая теория относительности. Однако, общий подход к синхронизации часов при этом не меняется. Отличие состоит лишь в том, что разделяющее часы пространство разбивается на малые участки («микро-ракеты»), и свойства пространства-

времени в окрестности каждой такой «микро-ракеты» теория относительности задает с помощью мгновенно-сопутствующих им инерциальных систем отсчета. Каждая «микро-ракета» в своей мгновенно-сопутствующей инерциальной системе отсчета считается временно неподвижной [*Мари-Антуанетт Тоннела*, 1962, с.302-309; *Р. Толмен*, 1974, с.187-188; *В.А. Угаров*, 1977, с.82; *Д.В. Сивухин*, 2005, Т.IV, с.683]. Этот математический прием, обеспечивает принципиальную применимость СТО как физической теории, т.к. в природе нет тел, движущихся идеально равномерно и прямолинейно. Синхронизация часов на каждой такой «микро-ракете» проводится так же, как и в СТО, т.е. путем обмена световыми сигналами *вдоль соединяющего эти часы отрезка прямой*, цитата [*Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц*, 1988, Т.II, с.306]:

«Перейдем теперь к понятию одновременности в общей теории относительности. Другими словами, выясним вопрос о возможности синхронизации часов, находящихся в разных точках пространства, т.е. приведение в соответствие показаний этих часов. Такая синхронизация должна быть, очевидно, осуществлена с помощью обмена световыми сигналами между обеими точками. Рассмотрим снова процесс распространения сигналов между двумя бесконечно близкими точками *A* и *B*. Одновременным с моментом x^0 в точке *A* следует считать показания часов в точке *B*, лежащее посередине между моментами отправления и обратного прибытия сигнала в эту точку».

Это, так сказать, «стандартная» релятивистская (или эйнштейновская) методика синхронизации (ср. с формулой (1)). Следует отметить, что после синхронизации часы будут оставаться синхронными только в случае равенства темпов хода этих часов, что в общем случае (согласно теории относительности) выполняется не всегда.

Теперь мы готовы рассмотреть проблему синхронизации стандартных (т.е. одинаковых) часов, закрепленных на ободе вращающегося диска. Теория относительности утверждает, что их непротиворечиво синхронизировать невозможно, хотя темп хода всех таких часов одинаков [*Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц*, 1988, Т.II, с.329, *Мари-Антуанетт Тоннела*, 1962, с.311]. Вот, например, как об этом пишет Мардер в своей книге «Парадокс часов», цитата [*Л. Мардер*, 1974, с.194]:

«Пусть на карусели находится (и вращается вместе с ней) большое число стандартных часов C_1, C_2, \dots, C_n , закрепленных на равных расстояниях друг от друга по ее круговой кромке. Радиус такой окружности равен r , а угловая скорость вращения карусели – ω ; тогда множитель, описывающий замедление хода каждого таких часов с точки зрения системы S , будет равняться $\sqrt{1-r^2\omega^2}$. Однако, если пассажир карусели попытается синхронизировать друг с другом последовательно все эти часы, основываясь на эйнштейновской методике, у него ничего не получится. Пусть он синхронизирует C_2 с C_1 , потом C_3 с C_2 и т.д. по всей окружности. Когда он дойдет до часов C_n , то обнаружит, что они будут рассинхронизованы с соседними часами C_1 ».

Как мы уже выяснили ранее «эйнштейновская методика» означает, что сигналы синхронизации между парой соседних часов передаются вдоль соединяющего эти часы отрезка прямой (в данном случае вдоль обода диска). Схематично это показано на рис. 8.

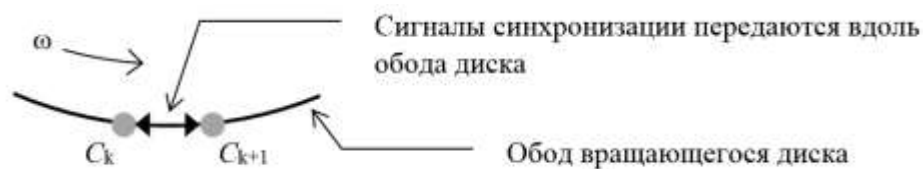


Рис. 8. Релятивистская синхронизация часов на ободу.

Результат, полученный пассажиром карусели, подтвердит и неподвижный наблюдатель, иначе они пришли бы к противоречию в суждении о синхронности часов C_1 и C_n , находящихся в одной и той же точке (рис. 9).

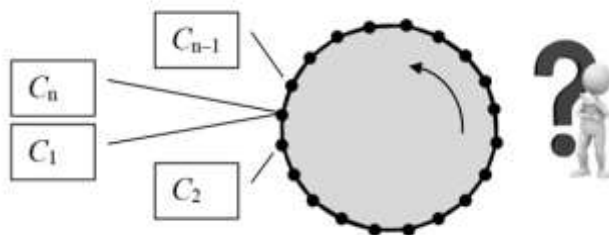


Рис. 9. Часы на ободу вращающегося диска.

В самом деле, с точки зрения неподвижного наблюдателя часы C_2 отстают от часов C_1 , (т.к. являются «головными» для движущегося отрезка C_1C_2), аналогично часы C_3 отстают от C_2 , C_4 отстают от C_3 и т.д., следовательно, часы C_n отстают от часов C_1 .

Мы видим, что «стандартная» релятивистская процедура синхронизации часов на ободу вращающегося диска не является транзитивной. Кроме того, как будет показано далее, в данном случае она не является и симметричной.

Докажем, что часы на ободу вращающегося диска синхронизировать можно. Сделаем так. Синхронизируем все часы на ободу диска до начала его вращения. После этого раскрутим диск, и зададим себе вопрос – синхронно ли теперь идут часы? В процессе раскрутки все часы находились в абсолютно равных условиях в силу круговой симметрии диска, причем как с точки зрения неподвижного наблюдателя, так и с точки зрения пассажира диска. Следовательно, какая бы причина не повлияла на ход часов, – это влияние будет идентичным для всех часов. Значит и после раскрутки диска все часы на его краю останутся синхронными, как для неподвижного наблюдателя, так и для пассажира диска. Иными словами, все часы на краю диска равноправны, поэтому, как для неподвижного наблюдателя, так и для пассажира диска, не существует причины, по которой какие-либо часы могли бы уйти вперед или назад по отношению к любым другим. То есть, как с точки зрения наблюдателя на диске, так и с точки зрения неподвижного наблюдателя, все часы на краю диска, после его раскрутки, могут идти только синхронно.

Рассмотрим теперь синхронизацию часов на ободу уже вращающегося диска. Соединим центр диска с часами A и B световодами, проложенными вдоль радиусов (рис. 10).

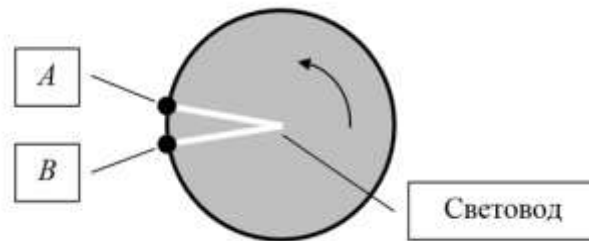


Рис. 10. Часы на ободе диска, соединенные световодом с центром.

Пошлем сигналы синхронизации по световодам из центра диска одновременно к обоим часам. Очевидно, что условия распространения сигналов синхронизации к обоим часам абсолютно идентичны в силу круговой симметрии диска. Это обстоятельство, мы вполне можем использовать для синхронизации часов, выставив на них одинаковые показания в момент прихода сигналов синхронизации.

Часы на ободе уже вращающегося диска можно синхронизировать еще, например, так. Совместим наш вращающийся диск с другим таким же диском, вращающимся с такой же угловой скоростью, но на котором часы были синхронизованы еще до его раскрутки, и, как мы выяснили ранее, не могли при раскрутке потерять синхронизм (назовем этот второй диск эталонным). Теперь нам остается только установить часы на первом диске в соответствии с показаниями часов эталонного диска.

Можно предложить еще один вариант синхронизации часов на ободе уже вращающегося диска. Хотя он немного более сложный, но тоже симметричный. Пошлем световой сигнал по световоду (рис. 10) от часов *A* к часам *B* (считаем, что световоды соединены в центре диска). Отразившись от часов *B* сигнал вернется к часам *A*. Время движения светового сигнала между двумя *любыми* точками на ободе диска по такому световоду складывается из двух частей: времени движения от точки на ободе диска к его центру Δt_1 , и времени движения от центра диска к точке на ободе Δt_2 . В силу круговой симметрии диска, длительность этих частей не зависит от того, какие точки на ободе диска при этом фигурируют. Для любой пары часов *A* и *B* на ободе диска время движения светового сигнала «туда» (от *A* к *B*) равно $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2$, и время его движения «обратно» тоже равно $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2$. То есть время движения сигнала «туда» равно времени его движения «обратно» в силу круговой симметрии диска, поэтому чтобы часы *B* и *A* были синхронны, требуется просто подвести часы *B* так, чтобы выполнялось равенство (1).

Все предложенные выше способы синхронизации симметричны, причем как для пассажира диска, так и для неподвижного наблюдателя, и в отличие от «стандартного» релятивистского, они являются транзитивными. При их использовании наблюдатели не столкнутся с описанным ранее противоречием при синхронизации часов по кругу. Все часы на ободе будут синхронны, причем как с точки зрения наблюдателя на диске, так и с точки зрения неподвижного наблюдателя.

Мы получили, что часы на ободе вращающегося диска непротиворечиво синхронизировать можно, причем опираясь только на соображения симметрии, не используя никаких условий или допущений. Симметричные способы синхронизации, рассмотренные выше, не дают нам поводов сомневаться в их

корректности, они надежно логически обоснованы. Почему же «стандартный» релятивистский способ синхронизации при попытке синхронизировать все часы на ободе диска приводит к противоречию? Ответ очевиден – потому он не симметричен. С точки зрения наблюдателя на диске, неподвижного относительно синхронизируемых часов, условия движения вдоль обода в противоположных направлениях различны (рис. 8), поэтому *без дополнительных допущений* нет оснований считать, что времена распространения сигналов синхронизации в одну и в другую сторону вдоль обода диска одинаковы, следовательно, нет и критерия корректной установки показаний часов. В этих обстоятельствах наблюдатель на диске не может пользоваться «стандартным» релятивистским способом синхронизации, он обязан отказаться от него в пользу надежно логически обоснованного, топологически симметричного способа. Но симметричные способы синхронизации позволяют непротиворечиво синхронизировать часы на ободе диска, поэтому мы вынуждены сделать вывод, что утверждение о невозможности такой синхронизации необоснованно, и более того – ошибочно. То, что «стандартная» релятивистская процедура синхронизации часов на ободе вращающегося диска приводит к логическому противоречию, теория относительности интерпретирует как специфическое свойство времени в системе отсчета диска, хотя, как мы убедились, – в данном случае это просто следствие *логически необоснованного, несимметричного* способа синхронизации.

Кроме того, надежно логически обоснованные, топологически симметричные способы синхронизации, помимо отсутствия противоречий, приводят еще и к тому, что события на ободе, одновременные для наблюдателя на диске, – будут одновременными и для неподвижного наблюдателя, что несовместимо, как минимум, с двумя важнейшими релятивистскими эффектами. Первый – это «относительность одновременности», а второй – лоренцево сокращение длины, которое является прямым следствием первого [И.И. Гольденблат, 1972, с.12; В.А. Угаров, 1977, с.71; Д.В. Сивухин, 2005, Т.IV, с.681].

Список литературы

Борн М. Эйнштейновская теория относительности, перевод с английского Н.В. Мицкевича. – 2-е изд., испр. – М.: МИР, 1972 (EINSTEIN'S THEORY OF RELATIVITY by Max Born. Revised edition prepared with the collaboration of Gunter Leibfried and Walter Biem. Dover Publications Inc. New York 1962)

Гольденблат И.И. «Парадоксы времени» в релятивистской механике. – М.: НАУКА, 1972

Грюнбаум А. Философские проблемы пространства и времени, перевод с английского Ю.Б. Молчанова, общая редакция Э.М. Чудинова. – М.: Прогресс, 1969 (Philosophical problems of space and time, Adolf Grünbaum; Andrew Mellon Professor of Philosophy UNIVERSITY OF PITTSBURGH; New York Alfred A. Knopf, 1963)

Жуков А.И. Введение в теорию относительности. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961

- Ландау Л.Д., Лившиц Е.М.* Теоретическая физика: Учеб. пособие. В 10 т. Т. II. Теория поля. – 7-е изд., испр. – М.: НАУКА, 1988
- Мардер Л.* Парадокс часов. – Пер. с англ. А.А. Бейлинсона. – М.: МИР, 1974 (L. Marder, TIME AND THE SPACE-TRAVELLER, LONDON GEORGE ALLEND AND UNWIN LTD RUSKIN HOUSE MUSEUM STREET, 1971)
- Мёллер К.* Теория относительности. – 2-е изд. – Пер. с англ. Под ред. проф. Д. Иваненко. – М.: Атомиздат, 1975 (THE THEORY OF RELATIVITY by C. Möller, second edition, Clarendon press, Oxford, 1972)
- Рейхенбах Г.* Философия пространства и времени, перевод с английского Ю.Б. Мочанова, общая редакция А.А. Логунова. – М.: Прогресс, 1985 (Philosophy of Space and Time by Hans Reichenbach. Translated by Maria Reichenbach and John Freund: with introductory remarks by Rudolf Carnap, New York, 1958)
- Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Учеб. пособие: для вузов. В 5 т. Т. IV. Оптика. – 3-е изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005
- Терлецкий Я.П.* Парадоксы теории относительности. – М.: НАУКА, 1966
- Толмен Р.* Относительность термодинамика и космология, перевод с английского В.М. Дубовика и В.К. Игнатовича, под редакцией Я.А. Смородинского. – М.: НАУКА, 1974 (Richard C. Tolman, Professor of physical chemistry and mathematical physics at the California institute of technology, RELATIVITY THERMODYNAMICS AND COSMOLOGY, Oxford at the Clarendon press, 1969)
- Тоннела Мари-Антуанетт,* Основы электромагнетизма и теории относительности, перевод с французского Г.А. Зайцева. – М.: Издательство иностранной литературы, 1962 (Marie-Antoinette TONNELAT, Professeur a la Faculte des Sciences de Paris, LES PRINCIPES DE LA THEORIE ELECTROMAGNETIQUE ET DE LA RELATIVITE, MASSON ET CIE EDITEURS, PARIS, 1959)
- Тяпкин А.А.* Выражение общих свойств физических процессов в пространственно-временной метрике специальной теории относительности // УФН. 1972. Т. 106, вып. 4. С. 617-659 (<http://ufn.ru/ru/articles/1972/4/c/>)
- Угаров В.А.* Специальная теория относительности. – 2-е изд., испр. – М.: НАУКА, 1977
- Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. В 9 т. Т. II. Пространство, время, движение. – М.: МИР, 1965
- Фок В.А.* Теория пространства, времени и тяготения. – 2-е изд., дополненное. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961
- Эйнштейн А.* Собрание научных трудов. В 4 т. Т. I. Работы по теории относительности 1905-1920; под редакцией И.Е. Тамма, Я.А. Смородинского, Б.Г. Кузнецова. – М.: НАУКА, 1965