Ещё раз о "Парадоксе близнецов"

В.А. Касимов (e-mail: *quadrica-m@mail.ru*)

Поскольку зачастую при обсуждениях вопросов теории относительности отрицается существование парадокса близнецов, возникает необходимость остановиться на этом ещё раз. Показано, что формальными средствами СТО и ОТО парадокс близнецов *не разрешается*.

Суть парадокса близнецов

Рассматриваем двух братьев-близнецов. Один из них отправился в космическое путешествие, другой остался на Земле. По возвращении космонавта братья сравнивают времена путешествия, каждый по своим часам. Вопрос возникает в связи с использованием преобразований Лоренца для оценки времени путешествия тем и другим. Согласно этим преобразованиям, если считать неподвижным брата-землянина, то время путешествия по его часам будет больше по сравнению со временем по показаниям часов брата- космонавта. Этот факт интерпретируется как то, что брат-космонавт прилетит более молодым, чем его близнец-землянин. Однако, если считать неподвижным брата-космонавта в системе отсчёта, связанной с космическим кораблём, то ситуация будет обратной: брат-землянин окажется моложе. Средствами специальной теории относительности ответить на вопрос - кто же в действительности окажется моложе, оказывается невозможно в силу симметрии систем отсчёта братьев-близнецов. Таким образом, источником *парадокса близнецов является симметрия систем отсчёта братьев-близнецов*, а его предметная классическая формулировка в СТО фиксирует невозможность ответить на вопрос - кто же останется в результате моложе?

Чтобы лучше понять о какой симметрии идёт речь, разберём ещё один наглядный пример. Для этого введём термодинамическую шкалу измерения времени.

Пусть космонавт решил вскипятить чайник. Затраченное на кипячение время оказалось равным интервалу *собственному времени*[1)] $\tilde{\tau}'$. Согласно прямым преобразованиям Лоренца этому интервалу соответствует интервал *координатного времени* по часам землянина

$$\Delta t = \tilde{\tau}'/\sqrt{1-V^2}. \qquad \text{(i)}$$

Пусть теперь землянин кипятит чайник. Соотношение между интервалом собственного временем, затраченным на кипячение $\tilde{\tau}$, и соответствующим интервалом координатного времени по часам космонавта устанавливается с помощью обратных преобразований Лоренца:

$$\Delta t' = \tilde{\tau}/\sqrt{1-V^2}. \qquad \text{(ii)}$$

Из общих соображений, а именно из тех, из которых выведены сами преобразования Лоренца (однородность и изотропность пространственно-временных отношений, их непрерывность), мы должны сказать, что сами процессы кипячения, как термодинамические процессы, у космонавта и землянина, согласно принципу относительности и равноправности инерциальных систем отсчёта, должны протекать совершенно идентично при идентичных

---

1) *Собственным временем* движущегося материального тела называется время, измеренное в системе отсчёта, в которой тело покоится. *Координатным временем* называется время, полученное с помощью преобразований пространственно-временных координат при переходе из одной системы отсчёта в другую.

условиях. Из этого следует, что должно выполняться соотношение $\tilde{\tau} = \widetilde{\tau'}$. Это даёт возможность измерять интервалы собственного времени с помощью "термодинамических часов". Это же подкрепляется следствиями из СТО, и из ОТО: собственное время является инвариантом 4-координатных преобразований. Из (i) и (ii) в свою очередь, следует, что $\Delta t = \Delta t'$.

Таким образом, собственные времена $\tilde{\tau}$ и $\widetilde{\tau'}$ совпадают, координатные времена Δt и $\Delta t'$, полученные с помощью прямых и обратных преобразований Лоренца, также совпадают, а *соотношения между интервалами собственных и координатных времён симметричны при замене одной системы отсчёта другой.*

Общая связь интервалов координатного времени t нештрихованной системы отсчёта с собственным временем τ' штрихованной системы отсчёта выражается формулой

$$\tau' = t\sqrt{1 - V^2}, \qquad \text{(iii)}$$

где V — скорость движения одной системы отсчёта относительно другой. Это соотношение отражает общий вывод СТО о том, что при сравнении показаний двух часов всегда будут отставать те, показания которых сравниваются с двумя разноместными (см. Приложение) Этот эффект можно рассматривать как чисто кинематический и как не имеющий прямого отношения к природе самого времени.

Усилим этот вывод следующим замечанием. Для этого "проквантуем" термодинамическую шкалу измерения времени братьев чашками выпитого ими чая.

Если, скажем, космонавт в т ие интервала собственного времени $\tilde{\tau}'$, измеренного "термодинамическим часами" кипятит чайник n раз, то при тех же условиях и землянин за своё собственное время τ так же вскипятит чайник n раз. При преобразованиях Лоренца так же как и при общих непрерывных преобразованиях, дискретное число произошедших событий, лежащих в интервалах времени τ и τ', останется тем же, поскольку уже произошедшие события — абсолютные инварианты: если они произошли в одной системе отсчёта, их должны обязательно зафиксировать наблюдатели и других систем, связанных с исходной системой не слишком экстравагантными преобразованиям 4-координат. Это позволяет нам измерять интервалы собственного времени не только с помощью "термодинамических часов", показывающих непрерывное время, но и в дискретных "чашках выпитого чая", что означает фактическое изменение топологии шкалы измерения времени. Первая шкала представляет традиционную *непрерывную* шкалу измерения времени, вторая — *дискретную*.

Возникает ситуация, когда, например, землянин "постарев" на $\tilde{\tau}$ (на несколько чашек чая), будет уверен согласно преобразованиям Лоренца, что его *Vis-a-Vis* постарел на интервал координатного времени $\Delta t'$, причём $\Delta t = \Delta t' \neq \tau = \tau'$. Ситуация же будет совершенно симметричной по поводу наблюдения и измерения каждым из близнецов.

Это напрямую противоречит "принципу определённости", поскольку вызывает затруднения при ответе на вопрос: *Сколько же времени на самом деле потребуется на кипячение, или это* $\Delta t = \Delta t'$, *или это* $\tilde{\tau} = \widetilde{\tau'}$? Таким образом, симметрия связи собственного времени на кипячение одного из братьев и времени зафиксированного его *Vis-a-Vis* очевидна (соотношения (i) и (ii)) и наглядно продемонстрирована. Именно этот факт мы и называем симметрией, что приводит к парадоксу в СТО: мы не можем сказать однозначно - по каким часам закипит чайник или какой из близнецов окажется моложе? Существование "противоречия" или недоговорённости не подлежит сомнениям. Дело же теперь касается его разрешения. И здесь естественным образом возникает вопрос: *какое время проживают братья-близнецы, какое время в этом случае принимать за "настоящее" − координатное или собственное?*

"Расхожим" решением парадокса является следующее: фиксируется факт несимметрии систем отсчёта землянина и космонавта. Поскольку именно космонавт включает ракетные двигатели, без всяких кинематических и динамических оснований за "настоящее" время явным образом принимается координатное, то есть по существу предпочтение "помолодеть" отдаётся без всяких на то оснований брату-космонавту.

Между тем, для измерения прожитого времени человеком, естественнее выбрать дискретную шкалу измерения, поскольку измерение прожитого человеком времени, например, реальным числом сердцебиений более адекватно, нежели то же измерение абстрактным непрерывным временем. Кроме того, и естественный возраст человека измеряется дискретными годами, то есть дискретным числом оборотов Земли вокруг Солнца. Как для уже произошедших событий, число их инвариантно для любых систем отсчёта. В этом плане можно увидеть, что собственное время (поскольку он является инвариантом произвольных непрерывных преобразований) более адекватно для измерения возраста человека.

Оставим на время *окончательное* решение вопроса о том, какое из времён − собственное или координатное считать настоящим и займёмся ответом на вопрос:

> *Почему включение ускорений братом-космонавтом нельзя рассматривать как причину нарушения симметрии систем отсчёта космонавта и землянина?*

Как и прежде будем различать координатное t и собственное τ времена и прежде всего опишем в общем случае соотношения между масштабами осей рассматриваемых времён.

Пусть часы координатных времён, связанные с системами землянина (S) и космонавта (S') синхронизированы на $t = t' = 0$, а начала пространственных координат в этот единый момент времени совпадают: $x = x' = y = y' = z = z' = 0$. Оси координатных времён имеет такой же статус что и пространственные координатные оси. Связь между координатными временами братьев-близнецов описывается преобразованиями 4-координат при переходах $S \Leftrightarrow S'$.

Собственное время τ измеряется неподвижными относительно наблюдателя точечными часами. В общем случае масштабы отрезков оси собственного времени τ не совпадают с масштабами отрезков оси координатного времен t, а связь между ними описывается формулой $d\tau = \sqrt{g_{00}}dt$ [2)], так что имеем для дифференциалов времён: $d\tau \neq dt$.

Поскольку для псевдоевклидовой метрики СТО $g_{00} = 1$, то в этом частном случае масштабы отрезков оси собственного времени землянина τ совпадают с масштабами отрезков оси его координатного времен t, поэтому $d\tau = dt$ [3)].

Однако это не так для координатного t' и собственного τ' времён космонавта, поскольку метрика космонавта отлична от псевдоевклидовой, а масштабы отрезков времён τ' и t', как уже упоминалось, $d\tau' \neq dt'$ и описываются соотношением согласно [2)] с использованием выражения для временной компоненты метрического тензора:

[2)] ЛД Ландау, ЕМ Лифшиц, Теория поля, §84, ф. (84.1)

[3)] Именно это и предопределяет возможность синхронизации пространственно разнесённых часов в инерциальных системах отсчёта.

$g'_{00} \approx 1 + 2\varphi(x')$ [4].

Поскольку братья-близнецы, каждый из них, "живут" в собственном времени, естественно и возраст каждого из них измерять в собственном времени. А нарушение симметрии искать в отличии величин интервалов этих времён. Интервалы же координатных времён при произвольных преобразованиях 4-координат, естественно, будут различаться.

Путь в некоторый момент времени космонавт включает двигатели ракеты и начинается его ускоренное движение.

В общем случае интервалы собственных времен при прохождении пути между моментами включением и выключением двигателей ракеты космонавта вычисленные по координатам землянина и по координатам космонавта и проживаемые ими обоими во время ускорения корабля совпадают с одним и тем же отрезком интервала мировой линии (в релятивистской системе единиц измерения $c = 1$), который инвариантен при преобразованиях 4-координат. И если прожитое время путешествия братьев-близнецов измерять их собственными временами, то на этом обсуждение парадокса можно было бы закончить, включая и псевдориманову метрику, поскольку *симметрия превращается в тождество и инвариантность собственных времён братьев-близнецов*. Решение это чисто "кинематическое", использующее только *точечные преобразований Лоренца*, и ничего другого, кроме относительной скорости. Оно не предполагает даже участия каких-либо физических тел или процессов, с помощью которых и должно измеряться время.

Следует отметить. что классические понятия скорости, длины, интервалов времени в квантовой механике являются весьма неоднозначными с точки зрения топологии, поэтому при микроуровневом описании физических процессов возникают свои вопросы. А результаты экспериментов с реальными π-мезонами и их интерпретация опять возвращают нас к проблеме несимметрии. Однако здесь по этому поводу мы можем сослаться на формулу (iii): по сути в подобных экспериментах мы измеряем координатное время π-мезона, которое согласно (iii) всегда "длиннее" собственного.

Сейчас же (СТО, ОТО) пока не решен вопрос общей физической соизмеримости координатного и собственного времён, мы должны продолжить обсуждение парадокса.

Рассмотрим частный пример, иллюстрирующий роль ускорения и возникающего эквивалентного гравитационного поля на "течение" собственного времени обоих братьев, результат анализа которого ответит на поставленный вопрос.

Будем рассматривать отрезок мировой линии между событием начала ускорения корабля и событием прекращения ускорения, а когда будет говориться о собственных временах, то будут подразумеваться интервалы времени именно между двумя этими событиями.

Введём обозначения. Пусть:

τ - собственное время космонавта, вычисленное по данным землянина (по координатам лабораторной системы отсчёта S);

τ'- собственное время землянина, вычисленное по данным космонавта (по координатам системы отсчёта S'связанной с космонавтом).

Имеем в системе отсчёта землянина с псевдоевклидовой метрикой 4-пространства СТО:

$$ds^2 = dt^2 - (dx^1)^2 - (dx^2)^2 - (dx^3)^2 = (dt')^2 = (d\tau)^2, \qquad (1)$$

где $(t, x^1, x^2 x^3) -$ координаты космонавта в системе отсчёта землянина, являющиеся функциями времени t. В формуле (1) учтено, что собственное время космонавта τ совпадает с координатным временем t' системы S'.

[4] ЛД Ландау, ЕМ Лифшиц, Теория поля, §87, ф. (87.12)

Соотношение (1) позволяет найти собственное время космонавта τ по координатному времени t землянина:

$$\tau = \int\limits_{\substack{\text{по}\\\text{мировой}\\\text{линии}}} \sqrt{1 - V(t)^2}dt \tag{2}$$

Этот результат позволяет ответить на поставленный вопрос: в формуле (2) для вычисления собственного времени космонавта отсутствует ускорение. Формула справедлива для вычисления собственного времени космонавта τ, движущегося с произвольной скоростью $V(t)$ в системе отсчёта землянина. Это во-первых.

Ответ может показаться слишком абстрактным и отвлечённым (хотя логически и достаточным для случая псевдоевклидовой метрики), поскольку именно космонавт включит, а землянин, находясь локально в псевдоевклидовой метрике, только обнаружит результат включения двигателей по началу ускоренного движения ракеты.

Однако здесь следует отметить, что и космонавт заметит движение землянина с ускорением. Согласно принципу эквивалентности Эйнштейна, он обнаружит возникновение и присутствие эквивалентного гравитационного поля, а как результат – ускорение движения землянина в этом поле.

Покажем, что в любой момент времени и при движении землянина в эквивалентном гравитационном поле "замедление" времени будет определяться скоростью, а не ускорением и именно по формуле аналогичной (2). И это во-вторых. При этом отметим, что ускоряющуюся систему отсчёта космонавта в малом интервале времени можно рассматривать как моментально инерциальную. Отметить эту особенность позволяет эквивалентность ускоренного движения в инерциальной системе отсчёта (с точки зрения землянина) и движения землянина в гравитационном поле (с точки зрения космонавта), то есть эйнштейновский принцип эквивалентности; само же движение землянина происходит по инерции.

Для описания движения в гравитационном поле мы должны использовать средства ОТО. Рассмотрим это подробнее.

По сравнению с общими решениями задач средствами ОТО наша задача упрощается, поскольку нас интересуют, только временн***ы***е компоненты метрического тензора: землянина - g_{00}[5)] и космонавта - g'_{00}, относящиеся к системам отсчёта братьев-близнецов, в одной из которых метрика пространства-времени псевдоевклидова. Связь между этими величинами проще всего получить, рассматривая выражения для временн***ы***х фрагментов интервала, который является инвариантом 4-преобразований координат.

Итак, пусть космонавт описывает в системе отсчёта землянина S произвольную траекторию: $x(t), y(t), z(t)$.

В общем виде связь между дифференциалами интервалов, собственных времён и координат систем отсчёта S и S', связывающих пары близких событий, записывается в виде:

$$\begin{aligned} ds^2 &= (d\tau')^2 = g'_{00}(dt')^2 = \\ &= g'_{00}(dt')^2 + 2g'_{\alpha 0}dx'^{\alpha}dt' + g'_{\alpha\beta}dx'^{\alpha}dx'^{\beta}; \quad (\alpha, \beta = 1,2,3) \end{aligned} \tag{3}$$

где $\left(t', x'^1, x'^2 x'^3\right)$ – координаты события в системе отсчёта космонавта S'.

[5)]Для псевдоевклидовой метрики землянина $g_{00} = 1$

Правая часть формулы (3) позволяет установить связь между дифференциалами координат движущегося ускоренно землянина относительно системы S' и, в частности дифференциалом своего координатного времени dt', с дифференциалом $d\tau$ собственного времени.

Однако нас интересует левая часть равенства (3) $-$ связь между координатным временем космонавта t' и собственным временем землянина τ', по словам Ландау - "истинным временем" (см. [2] стр. 303):

$$d\tau' = \sqrt{g'_{00}}dt' \tag{4}$$

Для псевдоевклидовой метрики, например в системе отсчёта землянина, согласно (1) и (4), $d\tau = dt,$ что означает независимость масштабов координатных осей собственного и координатного времён от пространственных координат, то есть собственное время "течёт" одинаково во всех точках псевдоевклидова пространства. Однако согласно (4), в общем случае это не так: собственное время τ' в силу зависимости правой части (4) от пространственных координат может "течь" по-разному в разных точках пространства.

Космонавт при вычислении собственного времени должен будет учесть, что он, как и землянин находится в гравитационном поле, поскольку движение землянина не является постоянным, а компонента метрического тензора метрики космонавта g'_{00} определяется потенциалом φ [3]:

$$g'_{00} \approx 1 + 2\varphi(x') \tag{5}$$

Из (5), например, для однородного поля $\varphi(x')$ с помощью тождественных преобразований следует

$$g'_{00} \approx 1 + 2\varphi(x') = 1 - 2a'x' = 1 - (a't')^2 = 1 - (V'(t'))^2 \tag{6}$$

Здесь a'- ускорение, которое испытывает землянин в эквивалентном гравитационном поле. Произведение этого ускорения на пройденное расстояние x', взятое с обратным знаком совпадает с разностью потенциалов между точками движения в эквивалентном гравитационном поле.

Из (4) и (6) следует

$$\tau' = \int\limits_{\substack{\text{по}\\\text{мировой}\\\text{линии}}} \sqrt{1 - V'(t')^2}dt' \tag{7}$$

Преобразования координатных скоростей в ОТО определяются формулами преобразования 4-координат. При этом ни классический, ни релятивистский закон сложения скоростей не сохраняют своего вида $-$ он может принимать довольно произвольную форму. В то же время решения уравнений Гильберта-Эйнштейна допускают произвольные преобразования пространственно-временных координат с изменением метрики. Мы используем этот факт для определения вида преобразований 4-координат таким образом, чтобы в (3) выполнялось соотношение:

$$2g'_{\alpha 0}dx'^{\alpha}dt' + g'_{\alpha\beta}dx'^{\alpha}dx'^{\beta} = 0; \quad (\alpha, \beta = 1,2,3) \tag{8}$$

Тогда при одномерном движении вдоль оси x'^1получаем

$$\frac{dx'^1}{dt'} = -2\,\frac{g'_{10}}{g'_{11}}, \tag{9}$$

что позволит определить закон движения $V'(t')$ в (7). Мы видим полное тождество формул (2) и (7). При этом $\tau = \tau'$, поскольку представляют собой длину одной и той же мировой линии ($c = 1$).

Таким образом, с помощью приближённых формул (5), (6) и (9) мы определили компоненту метрического тензора метрики космонавта g'_{00} через потенциал φ. Как результат применения этих формул получили соотношение (7), которое и даёт приближённое решение для собственного времени землянина, по крайней мере, в однородном поле.

Равномерное ускорение может быть достигнуто только в локально-временн**о**м случае и не может рассматриваться как возможное для продолжительных интервалов времени. Поэтому решение с постоянным ускорением в однородном гравитационном поле необходимо рассматривать как частный случай и то приближение, в котором приведена формула (6).

При достаточно гладкой метрике и функций преобразования 4-координат, псевдориманово пространство-время может быть преобразовано локально в эквивалентное псевдоевклидово. Поэтому выводы, для однородного поля будут обладать достаточной общностью.

Для установления же точного факта симметрии братьев-близнецов по отношению к ускорению и эквивалентному гравитационному полю и превращению её в тождество собственных времён недостаточно приближённых формул. Но здесь существенным обстоятельством является то, что собственное время при $c = 1$ является длиной мировой линии, то есть интервалом мировой линии в псевдоримановом 4-пространстве-времени между моментами включения и выключения двигателей ракеты. Интервал же является инвариантом 4-координатных преобразований, то есть $\tau = \tau'$.

Кроме того, "преобразования Лоренца" с зависящей от времени скоростью системы отсчёта космонавта позволяют точно решить задачу о временных интервалах фрагментов путешествия космонавта и землянина. Однако для получения подобного решения необходимо в первую очередь представить силу тяги ракетных двигателей и уравнение движения космонавта в ковариантном виде.

Таким образом, отрезки собственных времен братьев-близнецов, соответствующие прожитому времени путешествия во время ускорения космонавта равны между собой $\tau = \tau'$, *а включение ускорения одним не нарушает симметрии вследствие возникновения эквивалентного гравитационного поля у другого.*

Однако возникает второй вопрос:

1. *При чём здесь симметрия ОТО, если эта формула выведена исходя из инвариантности интервала и псевдоевклидовости пространства-времени, то есть фактически для случая СТО?*

Действительно, формулы преобразования времени путешествия (2) и (7) выведены исходя из псевдоевклидовости пространственно-временных отношений. Но и парадокс близнецов возник в СТО. Рассмотрение же симметрии в ОТО требует дополнительных пояснений. Здесь работает другая логика.

Обобщением инерциальных систем отсчёта в ОТО являются так называемые геодезические системы, то есть системы, на которые не действуют силы негравитационного происхождения - неучтённые в метрике пространства-времени.

Известно, что общие преобразования псевдориманова пространства не меняют свойств геодезичности систем отсчёта (так же, как и свойство инерциальности заданной системы отсчёта не меняется при переходе наблюдателя из своей инерциальной системы в другую инерциальную). Кроме того, в ОТО, в "чистом случае", нет необходимости даже в обеспечении возвращения космонавта, как при рассмотрении проблемы в СТО: возможно задание замкнутых траекторий, как, например, движение Луны вокруг Земли. В силу этого системы отсчёта, связанные с космонавтом и землянином оказываются совершенно симметричны и равноправны относительно свойства геодезичности. И среди них нельзя будет найти выделенного кандидата на то, чтобы он "помолодел".

Включение же двигателей ракеты опять выводит систему отсчёта космонавта из систем, двигающихся свободно (геодезично). Опять появляется несимметрия и возможность выделить одного их близнецов.

Да, и несимметрия появляется, и возможность различить системы отсчёта. Но исчезает возможность рассчитать собственное время доступными средствами: мы выходим за пределы учёта средствами ОТО характеристик свободного движения. Для учёта этого фактора и последующих корректных выводов необходимо ввести в уравнения движения космонавта ковариантное выражение возникающей новой силы и продолжать анализ дальше для получения результата "до числа".

Таким образом, мы вернулись по существу к первоначальной формулировке парадокса, только вместо инерциальных систем у нас появились геодезические. Симметрия систем отсчёта сохранилась, хотя, возможно, и при разных координатных интервалах времени, но решение парадокса достигается, как и в предыдущем случае рассмотрением собственного времени в качестве истинного времени жизни близнецов во время путешествия брата-космонавта и ожидания его братом-землянином. Кроме того, следует ожидать, что при корректном определении и введении внешней силы в уравнения движения симметричность сохранится относительно преобразований 4-координат в форме ковариантности уравнений движения.

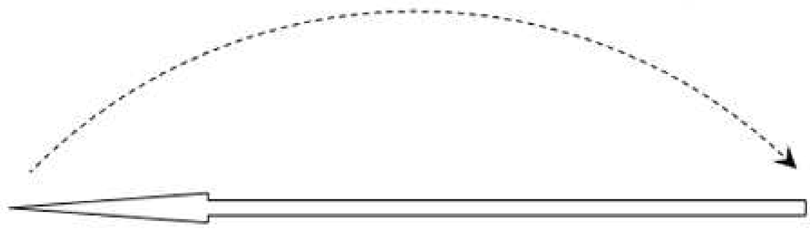
Таким образом, ни СТО, ни ОТО не лишает условие задачи свойства симметричности ситуации с братьями-близнецами. В СТО эта симметрия относительно преобразований Лоренца, в ОТО - симметрия относительно общих преобразований. Сама же ОТО была "изобретена" для обобщения лоренцевской относительности до принципа общей относительности, что и предопределило невозможность решения парадокса близнецов и в рамках ОТО. Решение же задачи "Парадокса близнецов" средствами ОТО для псевдоевклидовой метрики позволяет освободиться от ухищрений, связанных с рассмотрением дополнительных инерциальных систем отсчёта для обеспечения возврата космонавта на Землю.

Формулами (2) и (7) показано, что "течение времени" не определяется ускорением, оно определяется скоростью движения. Однако параметр скорости движения является топологической связкой между непрерывным пространством и непрерывным временем. В этом случае и парадокс близнецов необходимо рассматривать как топологический парадокс, связанный с представлением пространственно-временных отношений как непрерывных.

Простое разрешение парадокса достигается при квантовании оси времени или при переходе к аффинному эволюционному времени для исчисления возраста братьев-близнецов. Этот подход позволяет объяснить и феномен, связанный с сравнением времён жизни покоящегося в лабораторной системе отсчёта и прилетающего из космоса π-мезонов и ответить на следующий вопрос:

Не являются ли результаты экспериментов с π-мезонами подтверждением эффекта замедления времени?

О проявлении эффекта кажущегося "замедления времени" говорит следующий факт. Известно, что у π-мезона, прилетающего из космоса с релятивистской скоростью, "время жизни" значительно больше, чем у его лабораторного собрата-близнеца. Мы уже рассмотрели разрешение этого феномена с помощью (iii). Объяснение этого факта возможно и исходя из концепции точечного эволюционного, то есть собственного времени.



Теория относительности (*мега-*)	**Классическая теория** (*макро-*)	**Квантовая теория** (*микро-*)		
1	2	3		
Метрика g_{ik} в *ТМК-топологии*	Описание явлений в пространстве и времени Причинность	Либо Описание явлений в пространстве и времени Соотношения неопределённостей	Эти альтернативные описания связаны статистически	Либо Математическая схема, не соответствующая ни 3-мерному пространству, ни времени Причинность

Рис.1

Собственное время π-мезона, как и любой элементарной частицы дискретно и состоит из двух событий: рождение и распад. Между этими событиями элементарная частица находится в состоянии тождества сама с собой. Согласно процедуре измерения времени, описанной в [1], все эти промежуточные состояния между рождением и распадом должны быть "склеены" с состоянием рождения частицы. Дискретная же пара событий - рождения и распада, как абсолютные, будет однозначно фиксироваться в любой системе отсчёта как по числу (пара), так и по результатам (рождение и распад).

Макроскопическое координатное время, измеряемое в эксперименте, представляется непрерывным множеством мощности континуум. Преобразования Лоренца, как и любые более общие точечные, преобразуют интервал координатного времени, включающий всего два события собственной жизни частицы, в один из новых элементов класса эквивалентных по мощности непрерывных множеств, опять-таки включающих в себя пару состояний рождения и распада. Это обстоятельство позволяет вскрыть причины отсутствия общей физической измеримости координатного и собственного (точечного эволюционного) времён.

Различие топологий множества состояний частицы (дискретность собственного времени) и отображения состояний на непрерывную координатную ось времени (континуальность представления координатного времени) приводит к неадекватной трактовке ситуации, связанной интерпретацией собственного времени жизни элементарной частицы.

Однако феномен с мезонными близнецами, как нетрудно видеть, просто разрешается квантованием собственного времени и переходом к аффинному эволюционному времени на координатной оси.

Собственное время как инвариант непрерывных преобразований 4-координат и его связь с координатным временем играют ключевую роль в разрешении парадокса близнецов. Поэтому весьма полезным является рассмотрение свойств этой связи в трёх ипостасях организации материи. Известную картинку Бора [2] дополним левым столбцом (см. рис.1).

Сложности описания пространственно-временных отношений на микроуровне (правый столбец) в *ТМК-топологии*[6)] объясняются тем, что для первичных элементов геометрии или топологии в квантовой механике отсутствуют прообразы точек. Однако в примере с π-мезонами предоставляется возможность рассматривать пару событий рождения и распада частицы как дискретные. Не вдаваясь в структуры процессов рождения и распада как неких внутренних процессов, можно рассматривать их как элементарные и законченные события на оси собственного времени, то есть как точечные для геометрии. Это позволяет отображать собственное время частицы на континуальной оси, но в дискретной шкале. Очевидно, что пара событий, входящая в ограниченное непрерывное множество (отрезок оси), как число равное двум, будет оставаться инвариантом относительно любых непрерывных в классической топологии преобразований оси, несмотря на то что эти же самые преобразования будут менять шкалы и масштабы самой оси. Ограниченное множество, рассматриваемое уже как интервал непрерывной оси времени макроуровня, содержащий пару событий рождения и распада, и после преобразования так же будет содержать эту пару событий, однако в изменённых масштабах. Таким образом дискретное собственное время будет оставаться инвариантом и при непрерывных преобразованиях, в частности, при преобразованиях макроскопического координатного времени.

Возвращаясь к рис.1, отметим промежуточное положение классической теории между мега- и микроуровневыми описаниями. В отличие от микроуровневого случая на макроуровне появляется возможность концептуального построения физики на основе понятия точечных физических тел и безразмерных интервалов времени. Этим точечным объектам и интервалам (событиям) можно сопоставить базовые элементы геометрии в *ТМК-топологии* при выполнении определённых условий. Условия же реализуются при аппроксимации размеров и времён "кирпичиков", составляющих реальные физические тела и события, заведомо большими, чем характерные параметры в микромире, то есть представлять эти "кирпичики" как не имеющие размеров по сравнению с рассматриваемыми макротелами. В этом случае становится возможным описание пространственно-временных отношений между материальными точками как непрерывных отношений в *ТМК-топологии*.

По поводу преобразований координат, описывающих взаиморасположение 4-точек пространства Минковского необходимо сказать следующее. Важным моментом здесь является вопрос о выборе инвариантов преобразований, которые должны стать эталонами

[6)] *ТМК-топология* - точечно-метричекая классическая топология.

при арифметизации пространственно-временных отношений. На сегодняшний день это либо два независимых эталона длины и времени (классика, средний столбец), либо единый эталон скорости распространения стандартного сигнала, в качестве которого принимается скорость света в вакууме (СТО, левый столбец). Соответственно этому возникают два типа преобразований 4-координат: Галилея и Лоренца. Для обоих типов преобразований собственное время является инвариантом. Однако координатные времена преобразуются по-разному. Если для преобразований Галилея сохраняется тождественность собственного и координатного времён, то преобразования Лоренца нарушают эту тождественность; тоже самое можно сказать и об общих преобразованиях 4-координат псевдориманова пространства-времени в ОТО: они не сохраняют равенства собственного и координатного времён. Таким образом в общем случае между классическими и релятивистскими координатными непрерывными временами возникают "ножницы". Именно эти "ножницы" и породили парадокс близнецов в СТО при сопоставлении координатных времён разных систем отсчёта.

Классические эталоны длин и времени имеют общую область применимости с единым релятивистским эталоном скорости при малых скоростях и слабых гравитационных полях. Тождественность собственного и координатного времён по результатам классического метода арифметизации пространственно-временных отношений предопределяет непротиворечивое использование универсального понятия временив физике как непрерывного в классической физике (на макроуровне).

Инвариантность же собственного времени при произвольных точечных преобразованиях 4-координат разрешает парадокс и позволяет сохранить метрическую измеримость собственного времени, оставляя за координатным временем при его непрерывности лишь свойство аффинной упорядоченности (левый столбец).

Таким образом, общий анализ данных рис.1 позволяет сказать: при переходе от макро- к микро- теряется непрерывность собственного времени при сохранении непрерывности координатного (макро-) времени; при переходе от макро- к мега- теряется физическая измеримость координатного времени по известным эталонам при сохранении измеримости собственного по единому эталону скорости. Кроме того, при дискретном представлении собственного времени "ножницы" между координатным и собственным временами также исчезают при измерении времени в безразмерных и дискретных единицах числа различимых событий.

При анализе свойств летящего и покоящегося π-мезононов их собственные времена приобретают свойства дискретности, что обуславливает изменение топологических свойств пространственно-временных отношений на микроуровне (правый столбец). В частности возникают затруднения при определении скоростей, как производных по такому времени. Подобное усугубляется при интерпретации результатов экспериментов А. Аспека [3].

Что можно сказать о парадоксе, возникновение которого продемонстрировали два Чеширских кота с помощью результатов экспериментов Аспека. Напомним, что необходимость выполнения принципа генетического тождества предполагает сохранение целостности системы при её изменениях.

В отношении фотонной версии проблемы возможны два варианта её решения:

1. Рассматривать двухфотонную систему, как состоящую из двух целостных подсистем (фотонов).

2. Рассматривать её как единую целостную, нелокализованную точечно систему, описываемую единой функцией состояния. Линейность волнового уравнения позволяет работать с агрегатной волновой функцией, получаемой как суперпозиции решений для первого и второго фотонов.

Если первое ведёт к противоречию с СТО, то второе - к противоречию с классической топологией.

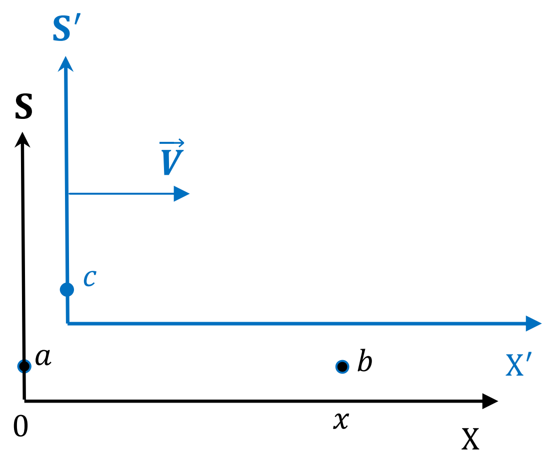
Таким образом, обобщая всё вышесказанное по поводу данных рис.1, можно заключить, что пространственно-временные парадоксы на микроуровне имеют топологическую природу, а на мегауровне возникают по причине отсутствия нового эталона измерений пространственно-временных отношений.

Литература

[1]. Касимов В.А. *Парадокс близнецов*. Новосибирск 2014. ISBN: 978-3-659-63150-4. https://www.academia.edu/32443266/
[2]. Бройль де Л. *Соотношения неопределённостей Гейзенберга и вероятностная интерпретация квантовой механики*. "Мир", Москва, 1986, (стр. 18).
[3]. Касимов В.А. *Некоторые топологические парадоксы СТО*. Новосибирск. 2014 г. https://www.academia.edu/32427340/
[4]. Касимов В.А. *О постулате постоянства скорости света в СТО*. Новосибирск. 2015 г. https://www.academia.edu/32427342/
[5]. В. Касимов .*О втором постулате СТО*. Новосибирск. 2015 г. https://www.academia.edu/32452588/

Приложение

Инерциальная система отсчёта $\mathbf{S}'$ с часами c, размещёнными в начале координат, движется с постоянной скоростью $\vec{V}$ относительно покоящейся системы $\mathbf{S}$. В системе $\mathbf{S}$ размещена пара своих часов, одни (a) - в начале координат, другие (b) - на расстоянии $d = x$ от начала координат вдоль оси X. Часы c системы $\mathbf{S}'$ сначала пролетают мимо часов a, затем - мимо часов b. Часы a и b системы $\mathbf{S}$ заранее синхронизированы между собой. Часы c синхрони-зируются с часами a в момент их встречи друг с другом. При этом пространственная точка этой встречи принимается за начала координат обеих систем.



Нас интересуют два события:

событие 1 - встреча часов c с часами a;

событие 2 - встреча часов c с часами b.

Координаты первого и второго событий в системе $\mathbf{S}$:

$x_1 = 0,\ t_1 = 0;\quad x_2 = d,\ t_2 = d/V$.

Координаты этих же событий в системе $\mathbf{S}'$ вычисляются согласно условию синхронизации и преобразованиям Лоренца:

$$x' = \frac{x - V\,t}{\sqrt{1 - V^2}},\qquad t' = \frac{t\, -\, V\,x}{\sqrt{1 - V^2}},$$

что даёт:

$$x_1' = 0, t_1' = 0; \quad x_2' = 0, \ t_2' = {}^{(d}\!/_{V)} * \sqrt{1 - V^2}.$$

Разница показаний часов составит

$$t_2 - t_2' = \left({}^{d}\!/_{V}\right) * (1 - \sqrt{1 - V^2}),$$

которая всегда положительна, то есть $t_2 > t_2'$.

*****

Для связи:
quadrica-m@mail.ru

Авторский семинар

http://my.mail.ru/community/physiks.princips/?ref=cat
http://quadrica.ucoz.net/
https://independent.academia.edu/KasimovVladimir
https://vk.com/public128913510
https://www.facebook.com/notes/1557999174417186/

http://orcid.org/0000-0002-1435-9220

В.А. Касимов. Снова о " парадоксе Близнецов"
Аннотация
Поскольку зачастую при обсуждении вопросов теории относительности отрицается существование парадокса близнеца, возникает необходимость вновь остановиться на этом ещё раз. Показано, что формальными средствами СТО и ОТО парадокса близнецов не разрешается.

V.A. Kasimov. Again about the "Twin paradox"

Abstract
As often in discussions of the theory of relativity denied the existence of the twin paradox, there is a need to dwell on this again. It is shown that the formal means of SRT and GRT a paradox twins are not resolved.