Путенихин Петр Васильевич

Просто про СТО

Саратов,
2023

ББК 22.313ф; 22.314ф; 22.62ф
УДК 530.12; 524.822; 535.14; 510.22
П 90

Путенихин, Петр Васильевич.
П90 Просто про СТО / П.В.Путенихин. –
Саратов: ООО "АМИРИТ", 2023. – 310 с., цв. илл.

ISBN 978-5-00207-215-6

Рассмотрены положения и выводы теории относительности, СТО на примере парадокса близнецов. Считается, что парадокс в рамках СТО не имеет решения, а окончательное решение он получил в общей теории относительности, ОТО. Показано, что, наоборот, парадокс имеет несколько непротиворечивых, взаимоисключающих решений именно в СТО, причём с соблюдением всех её положений, в том числе, принципа относительности. Рассмотрено парадоксальное решение – при встрече оба близнеца имеют одинаковый возраст. Найти непротиворечивое решение парадокса близнецов в ОТО не удалось: решение имеет неприемлемо высокую погрешность. Рассмотрена задача о вращающемся колесе, сформулированная в виде парадокса Эренфестом. Показано, что СТО в отношении вращающегося колеса делает непротиворечивые предсказания.

Книга ориентирована на читателя, интересующегося вопросами теории относительности, космологии и имеющего некоторые представления об этих областях. Главная аудитория – это профессиональные математики и физики, преподаватели этих предметов.

ББК 22.313ф; 22.314ф; 22.62ф
УДК 530.12; 524.822; 535.14; 510.22

© П.В.Путенихин, 2023
ISBN 978-5-00207-215-6
pe_put@rambler.ru

Предисловие

Для того чтобы понять, как устроен окружающий мир, человечество за время своего существования выработало множество наук и научных теорий. Среди них одно из важнейших мест занимают физика и её теории. Практически все технологические достижения человечества в той или иной степени опираются на законы физики, обычно именуемые также законами природы. Среди этих физических теорий в настоящее время ведущими являются квантовая теория и теория относительности. Теория относительности – это, по сути, две теории – специальная теория относительности, СТО и общая теория относительности, ОТО, известная также как теория гравитации. Если внимательно присмотреться, то можно обнаружить, что, несмотря на физический статус, СТО – это фактически просто *математическая* теорема, хотя и весьма оригинальная. Нередко математические задачи формулируются в виде рассказа-загадки. Начинаются они, например, так: "из пункта А в пункт Б вышел поезд...". Или "два землекопа вырыли яму...". Или "мальчик купил в магазине пять тетрадей...". Часть параметров этих задач считаются известными по определению. Например, в задаче о поездах ничего не говорится о том, что это за поезда, пассажирские или грузовые, электропоезда или просто локомотивы. В специальной теории относительности такими постулированными параметрами являются движущиеся объекты – инерциальные системы отсчёта – ИСО. Под ИСО иногда явно, но чаще всего неявно подразумеваются некие тележки, движущиеся прямолинейно и равномерно, то есть, с неизменной скоростью. К каждой тележке привязывается собственная система координат и часы. Основой всех выведенных в теории свойств являются её два принципа или, как сейчас говорят, два постулата. По сути, эти постулаты

эквивалентны друг другу, хотя и описаны по-разному. В авторской книге "Мнимые и реальные парадоксы теории относительности" показано, что все свойства СТО выводятся непосредственно из каждого постулата, без обращения к другому постулату из пары.

Считается, что теории относительности, в том числе специальная, крайне сложные теории, трудные для понимания. В общем-то, это мнение достаточно обоснованно. Тем не менее, один из разделов специальной теории относительности, первый, следует всё-таки считать *относительно* простым. Собственно, именно этот раздел и является своеобразной "визитной карточкой" теории – это раздел, в котором описывается процесс возникновения всех удивительных следствий СТО: замедление времени, уменьшение размеров движущихся тел, и самое известное и шумно обсуждаемое явление – парадокс близнецов. Без преувеличения можно сказать, что СТО – это теория, "фирменным знаком" которой является парадокс близнецов. В свою очередь парадокс является производным от не менее удивительных свойств теории, так называемых эффектов Лоренца – замедления движущихся часов и уменьшения размеров движущихся тел.

Хотя все следствия СТО следует рассматривать как следствия *математической* теоремы, их расширили, распространили на реальный физический мир. Теорема строго доказывается и не имеет никаких внутренних противоречий. Считается, что каждая формула в книге уменьшает вдвое число её читателей, поэтому неизбежные элементарные выкладки перенесены в последнюю главу данной книги (Глава "Истоки..."). Глава содержит минимальное количество предельно простых уравнений, формул, без которых вряд можно объяснить суть, причину возникновения эффектов специальной теории относительности, реляти-

вистских эффектов. На словах или "на пальцах" объяснить их суть вряд ли возможно. Собственно, эта глава приведена здесь для интересующихся, желающих убедиться в обоснованности рассматриваемых эффектов СТО. Надеемся, что та часть читателей, которая не приемлет в книгах формулы и уравнения, прекратит чтение, лишь дойдя до этой главы. Приведённые далее числовые значения имеют вид уравнений, смысл которых предельно прост: деление дистанции на скорость даёт время в пути и подобные.

Во втором постулате теории выдвигается предположение, что скорость света инвариантна, то есть, видна одной и той же, как со стороны движущегося наблюдателя, так и со стороны неподвижного. Оказалось, что такая инвариантность ведёт к вполне осмысленным следствиям. Следует признать, что выглядят эти осмысленные следствия теории весьма странно, а с точки зрения здравого смысла на первый взгляд даже парадоксально. Действительно, движущиеся часы отстают от неподвижных, но, согласно теории, её принципу относительности, и неподвижные часы отстают от движущихся часов. Выглядит явно как противоречие. Именно на этом *кажущемся* противоречии построен знаменитый парадокс близнецов. К слову заметим, что сам автор теории, Эйнштейн рассмотрел пару часов и ничего не говорил ни о близнецах, ни о парадоксе. В своей работе это явление он назвал "своеобразным следствием", которое затем представил в виде теоремы. Парадокс сформулирован не был, поскольку движение рассматривалось *только* с точки зрения неподвижной инерциальной системы отсчёта.

Всё время существования специальной теории относительности идут непрекращающиеся споры, словесные баталии о противоречивости теории. В дополнение к парадоксу близнецов формулируются всё новые и новые *мыс-*

ленные эксперименты, якобы подтверждающие ошибочность теории. Убеждённые, квалифицированные релятивисты, то есть, сторонники теории относительности, раз за разом разоблачают все эти опровержения. В конечном счете, всё завершилось тем, что релятивисты, судя по дискуссиям на форумах в интернете, просто перестали обращать внимание на этих ниспровергателей теории. В частности, в отношении главного парадокса теории выдвинут заметно компромиссный аргумент, что парадокс не имеет решения только в рамках самой теории, но непротиворечиво решается в другом разделе теории относительности – в теории гравитации, общей теорией относительности. Споры, однако, продолжаются.

Что интересно, ни противники, ни сторонники теории не замечают одного весьма важного обстоятельства. А именно: парадокса близнецов в классической формулировке в специальной теории относительности собственно как *парадокса* нет и быть не может. При соблюдении её основных постулатов движущиеся часы или близнец – путешественник попросту не могут *вернуться* в исходную точку. Но и перенос парадокса в ОТО означает, что формально в ней парадокс превращается в тривиальную задачу, которая, как *считается*, имеет простое решение.

Тем не менее, утверждение, что парадокс близнецов в СТО в классической формулировке не имеет корректного решения, повторяется практически во всех учебниках и в литературе, в которой он упоминается. Однако это утверждение мы назовём *ошибочным*. Часто парадокс близнецов формализуется, то есть, близнецов заменяют обычными часами, одни из которых движутся, как у Эйнштейна. В этом случае парадокс близнецов уже можно непротиворечиво "втолкнуть" в специальную теорию относительности. Действительно, недопустимый в СТО разворот движущих-

ся часов теперь устраняется довольно просто. Хотя это достаточно очевидные процедуры, но их четкого обоснования в литературе мы не встретили, зато на каждом шагу присутствуют почти фантастические скачки времени и пере-синхронизации часов, граничащие с нелепостью. Вместе с тем проблема разгона и торможения движущихся часов решается весьма просто. Вместе с движущимися часами вблизи исходной точки неподвижные часы также могут совершить два таких же цикла разгона и торможения, оставаясь, в конечном счете, в исходной точке. В этом случае вернувшиеся часы будут иметь отклонения в показаниях *только* за счёт эффекта Лоренца. Правда, показания неподвижных часов будут несколько иными, чем до начала движения. Есть и другой вариант компенсации ускоренного движения движущихся часов, часов близнеца-путешественника. В частности, мы можем записывать показания часов или останавливать их в момент достижения контрольной точки, после чего, например, после разворота часы в этой же точке вновь запускаются, либо переводятся в записанное состояние. Впрочем, парадоксу не противоречит и один из фантастических сценариев: это мгновенная остановка или мгновенный разгон часов. В этот момент часы фактически остановлены, то есть общие показания этих часов не меняются, "замораживаются". Понятно, что с неподвижными, остановленными часами в этой ситуации ничего не может произойти.

С учетом этой компенсации процессов ускорения-торможения мы получим доказательство справедливости парадокса близнецов в классической формулировке автора теории. А именно: движущиеся часы отстают от неподвижных часов или близнец-путешественник оказывается моложе своего брата-домоседа. Хотя это решение и не имеет никаких признаков парадокса, но оно является ча-

стичным, поскольку один вопрос остался нерешённым. И этот вопрос можно сформулировать так: А как же священный принцип относительности? Ведь согласно ему и неподвижные часы движутся относительно движущихся часов, которые мы имеем полное право считать неподвижными! Собственно говоря, парадокс близнецов или парадокс часов состоит именно в этом. Частичным решением такой проблемной относительности можно считать утверждение в одном из учебников физики Ландау и Лившица: отстающими являются *единственные* часы в той системе отсчёта, в которой они сравниваются с *двумя* часами в другой системе. Но в парадоксе близнецов, часов всегда сравниваются *единственные* часы в одной ИСО с *единственными* часами в другой. Как говорится, что-то тут не так.

Если присмотреться внимательно к формулировке парадокса и корректно применить положения специальной теории относительности, мы неизбежно придём к выводу, что при повторной встрече верны оба итога. Первый: в момент возврата неподвижные часы, скажем, на Земле, опережают часы движущиеся, скажем, на звездолёте. Второй итог: неподвижные часы на Земле отстают от часов, двигавшихся на звездолёте и вернувшихся на Землю. Иначе говоря, в специальной теории относительности классический парадокс близнецов имеет *непротиворечивое* решение, и даже два. Кажущееся противоречие, парадокс является следствием ошибочной *трактовки* положений теории. При повторной встрече близнецов они всегда, в любом из двух итогов придут к соглашению о показаниях часов и своём возрасте. Оба итога верны, эквивалентны. Рассмотрим их. Моменты разворота мы отбрасываем, ввиду их описанного выше тривиального осуществления.

1. Решение классического парадокса близнецов

Повторим: классическим мы называем парадокс близнецов в формулировке, производной от выкладок, приведённых в работе Эйнштейна от 1905 года. Строго говоря, эта формулировка не имеет признаков парадокса теории, поскольку, во-первых, она сама изначально противоречит положениям своей теории, то есть, по сути, не принадлежит ей, и, во-вторых, собственно противоречия, *альтернативных* доказательств в ней нет. Строго согласно положениям теории, действительно, движущиеся часы отстанут от неподвижных часов. Конечно, это непривычно, противоречит бытовым взглядам, но полностью соответствует теории, ни в чём ей не противоречит.

В литературе парадокс близнецов формулируется по-разному, и часто ему даётся другое название: "парадокс часов", в котором традиционных близнецов заменяют парой часов. В процессе анализа в качестве систем отсчёта, ИСО мы выберем традиционные, часто используемые системы: Землю с удалённой от неё звездой, и звездолёт, совершающий полёт от Земли к звезде и обратно. Указанные сравниваемые часы закреплены на Земле и на звездолёте. Сначала покажем, что это путешествие полностью *непротиворечиво* подтверждает традиционный вывод о том, что летавшие к звезде часы вернуться отставшими от неподвижных часов, находившихся на Земле.

Для проведения конкретных вычислений зададим расстояние от Земли до звезды с точки зрения земных наблюдателей равным $4 \times 0{,}9 = 3{,}6$ световых лет, где 0,9 – это скорость звездолёта в долях от скорости света. Такая скорость выбрана с той целью, чтобы использовать удобное, строго двукратное замедление течения времени, отставания часов, которое возникает, если часы движутся с выбранной относительной скоростью. Приблизительное

значение 0,9 – это округление точного значения – половины квадратного корня из 3, то есть, приблизительно 0,866. Соответственно, странная дистанция и её специфическая запись обозначает четыре отрезка пути, каждый из которых пройден за год с этой скоростью. Считаем, что на момент начала путешествия все часы показывают нулевое время. С учетом скорости звездолёта и пройденного им пути, с точки зрения Земли на момент возвращения звездолёта на Земле пройдёт время 8 лет = (4×0,9):0,9×2. В этом равенстве мы делим длину ИСО Земли, то есть, расстояние от Земли до звезды в записи, приведённой выше, на скорость движения звездолёта и умножаем на два, учитывая движение туда и обратно. Здесь, как видим, никакие эффекты СТО не используются, это обычное движение, как в физике Ньютона. Парадоксом же считается некоторое неясное несоответствие каких-то итогов вычислений. Рассмотрим, какими в момент возвращения на Землю будут показания часов на звездолёте. Напомним, что эффекты, связанные с ускорением и торможением звездолёта, противоречащие положениям СТО, легко и непротиворечиво устраняются, поэтому мы не будем их учитывать и упоминать. Согласно базовым положениям СТО часы на звездолёте отстанут от часов на Земле, а именно: при его возвращении земные наблюдатели будут утверждать, что часы на звездолёте показывают время в два раза меньшее, чем земные, то есть, (4×0,9):0,9×2:2 = 8:2 = 4 года. Это полностью соответствует положениям теории, поэтому здесь никакого парадокса или противоречия нет.

В свою очередь, эти же показания на своих часах зафиксируют и наблюдатели на звездолёте. Действительно, согласно СТО с их точки зрения путь от Земли до звезды равен только (4×0,9):2 = 1,8 световых года, поскольку участок Земля-звезда они видят как некий твердый стер-

жень, движущийся мимо них. Следовательно, он, как и время, сократится в два раза. Другими словами, если для землян звезда находится на удалении 3,6 световых года, то для путешественников на звездолёте – только на 1,8 световых лет. Поскольку для наблюдателей звездолёта движущимся объектом, "путешественником" теперь уже является звезда, то она по часам на звездолёте совершит своё путешествие за (1,8:0,9)×2 = 4 года. То есть, в момент встречи наблюдатели на Земли и на звездолёте придут к согласованному мнению: часы на звездолёте покажут время в два раза меньшее, чем часы на Земле. Но это относится к показаниям часов звездолёта. Поэтому надо уточнить, почему наблюдатели на звездолёте считают, что часы на Земле будут показывать 8 лет. И здесь мы впервые обнаруживаем некое подобие парадокса. Действительно, как мы уже отметили, согласно положениям СТО с точки зрения звездолёта движущимися часам теперь уже являются земные часы. Они, эти часы, видимо, и должны отстать от часов на звездолёте. Чтобы разобраться в этом несоответствии, нам следует вернуться на шаг назад.

Мы объявили, что часы звездолёта с точки зрения земных наблюдателей отстали от часов на Земле. Объявили это мы без каких бы то ни было вычислений, поскольку это непосредственно, напрямую следует из положений теории. Приведём ещё раз утверждение из учебника физики: отстающими являются *единственные* часы в той системе отсчёта, которые сравниваются с *двумя* часами в другой системе. Но в данном случае, похоже, сравниваются *единственные* часы в одной ИСО, на Земле, с *единственными* часами в другой – на звездолёте. Почему же мы утверждаем, что и с точки зрения движущегося звездолёта отстали часы именно на звездолёте, а не на Земле? Дело в том, что это утверждение из учебника содержит,

вообще-то, довольно заметную хитрость, ведущую к малозаметной ошибке. Очевидно: если первое измерение покажет, что движущиеся часы, единственные в смежной ИСО, на звездолёте отстают, то встречное измерение теперь уже единственных часов в *первой* ИСО, на Земле покажут, что в ней часы спешат. Эта ошибка, рассмотренная в авторской статье "Три чуда СТО: парадокс спешащих часов", и лежит в основе парадоксальности задачи о близнецах. В сущности это довольно очевидная ситуация: если одни из сравниваемых часов отстают от других, то автоматически эти другие должны спешить по отношению к первым.

Можно привести весьма интересное проявление этого эффекта спешащих часов. Если вдоль всего пути Земля – звезда расставить равномерно часы, наподобие, скажем, кремлёвских курантов или Биг-Бена, то наблюдатель на звездолёте будет видеть довольно необычную картину. Каждые следующие часы будут показывать время большее, чем его собственные часы, причём это превышение будет возрастать. Буквально это означает, что время вне звездолёта течёт быстрее, чем внутри него! Это явление мы и называем парадоксом спешащих часов. Собственно, парадокс – это несколько преувеличено. Действительно, как отмечено, движущиеся часы – это часы на звездолёте, а они должны отставать. Следовательно, неподвижные часы, вне звездолёта должны спешить. Никакого парадокса или противоречия в этом нет.

Итак, вернёмся к картине, наблюдаемой космонавтами, и рассмотрим этот парадокс в числах. Да, наблюдатели на звездолёте видят, что между Землёй и звездой расстояние составляет 1,8 световых лет. Они могут это даже измерить классическим релятивистским способом: измерив координаты Земли и звезды в один и тот же момент по своим часам. Но! Эти же наблюдатели определённо и од-

нозначно знают, что эта ИСО Земли – движущаяся, движущийся мимо звездолёта "стержень". Поскольку все они прекрасно знают положения специальной теории относительности, они знают, что это *сократившаяся* ИСО Земли. Следовательно, длина этой ИСО с точки зрения её земных наблюдателей ровно в два раза больше. Наблюдатели на звездолёте это прекрасно понимают, поэтому и с их точки зрения время путешествия звездолёта по *земным* часам составит $(4 \times 0{,}9):0{,}9 \times 2 = 8$ лет. Мы делим реальную длину ИСО Земли – 3,6 световых года – на скорость движения звездолёта – 0,9 от скорости света – и умножаем на 2, учитывая движение туда и обратно. Таким образом, и в этом случае в момент встречи наблюдатели ИСО звездолёта придут к тому же выводу относительно показаний часов на Земле, что и земляне.

Итак, причина возникновения традиционного парадокса близнецов заключается в том, что не выполняется важное требование: с точки зрения звездолёта движущаяся ИСО Земли *должна* рассматриваться как *уже* укоротившийся отрезок, реальная длина которого на самом деле в два раза больше. Традиционно же принимается, что и с точки зрения звездолёта участок Земля – звезда укорачивается, то есть, его длина равна длине ИСО звездолёта, сокращённой в два раза. В этом и заключается причина парадокса близнецов.

Как видим, с любой точки зрения наблюдатели движущейся *реально* и неподвижной ИСО приходят к одному и тому же мнению о показаниях их часов. А именно: часы на звездолёте в момент возврата из путешествия покажут время в два раза меньшее, чем часы на Земле. Добавим, что движущейся ИСО для каждого наблюдателя является соседняя, поэтому мы и указали "реально движущая-

ся", что определяется формулировкой задачи, её исходными данными, условиями.

В этом вопросе, как видим, никакого парадокса или противоречия нет. Но одна проблема в парадоксе близнецов, в парадоксе часов Земля – звездолёт пока не решена. Согласно СТО с точки зрения звездолёта *единственные* часы Земли должны отставать от часов звездолёта. А как же парадокс спешащих часов, который явно заявляет: земные часы идут быстрее часов на звездолёте? Дело в том, что этот парадокс описывает ситуацию с точки зрения *отстающих* часов. То есть, если мы обнаружим, что и часы Земли отстают от часов звездолёта, то парадокс спешащих часов сразу же "перейдёт" на другую сторону. Рассмотрим единственные часы в ИСО Земли – часы на самой Земле. Первые часы для измерения – это часы на звездолёте. В момент старта показания и тех и других часов одни и те же – нулевые. Для определения отставания земных часов нам нужны вторые часы в ИСО звездолёта. Добавим их. Поскольку звездолёт удаляется от Земли, то вторые часы в его ИСО следует поместить позади звездолёта, куда движется Земля. Пусть это будет то же расстояние, как до звезды – 1,8 световых лет. Подчеркнём: все "контрольные", парные часы обязаны находиться в одной и той же ИСО, в данном случае в ИСО звездолёта.

Очевидно, звезда достигнет звездолёта по его часам в тот же момент, когда и Земля достигнет этих вторых часов. Понятно, что по часам звездолёта пройдёт ровно 2 года: 1,8:0,9 = 2 года. Это и будут показания вторых часов в ИСО звездолёта. А какими будут показания часов Земли при их достижении вторых часов в ИСО звездолёта? Мы добавили эти часы в собственную ИСО звездолёта, поэтому отрезок между ними и звездолётом для Земли является *движущимся* отрезком. Поскольку он движется, то для

Земли его длина видна в два раза короче, то есть, 1,8:2 = 0,9 светового года. Следовательно, Земля и её часы пройдут этот отрезок по собственным часам за 1 год: 0,9:0,9 = 1 год. Таким образом, в момент встречи часов Земли со вторыми часами звездолёта на часах Земли будут показания 1 год. Для звездолёта показания всех его собственных часов равны, то есть, показания дополнительных, вторых часов равны показаниям часов на самом звездолёте. Из этого следует, что показания рассмотренных часов ИСО Земли в два раза меньше, чем показания на контрольных часах звездолёта – 2 года. Таким образом, в итоге мы приходим к окончательному выводу:

В строгом соответствии с СТО в классической формулировке парадокса близнецов часы близнеца-путешественника отстают от неподвижных часов близнеца-домоседа. Кроме того, каждые единственные часы в движущейся ИСО отстают от часов в неподвижной ИСО и, наоборот, каждые единственные часы в неподвижной ИСО отстают от часов движущейся ИСО. Наблюдатель рядом с "отстающими" часами видит, что в смежной ИСО все часы идут быстрее.

Этот вывод означает, что все положения СТО выполняются, в частности, принцип относительности, поэтому в парадоксе близнецов нет никаких противоречий, парадокса. Однако выше мы вскользь объявили, что есть и другие решения парадокса. Первое мы только что рассмотрели. Второе является его полным эквивалентом, но с точностью до наоборот: в момент повторной встречи *неподвижные* часы на Земле отстанут от *движущихся* часов на звездолёте. Но как это возможно? Рассмотрим ситуацию на

примере двух ИСО – поездов, то есть, заменим троицу Земля – звезда – звездолёт на два длинных поезда.

2. Альтернативное решение парадокса – два поезда

Выше мы заявили, что парадокс близнецов имеет несколько корректных, но, взаимоисключающих решений. Первое решение, в котором по возвращении на Землю отстают часы звездолёта, мы рассмотрели. Теперь рассмотрим второй, альтернативный вариант, когда в момент повторной встречи отставшими будут часы Земли.

Отметим, что квалификация теории как альтернативной чаще всего подразумевает её ошибочность. Однако здесь альтернативность решения означает, что оно попросту неизвестно, и выглядит противоречиво лишь на первый взгляд. Иначе говоря, парадокс близнецов имеет *два решения* точные, непротиворечивые сами по себе, но противоречащие друг другу. Другими словами при повторной встрече моложе будет или путешественник или домосед. Согласно классической логике, третьего не дано: либо так, либо иначе. Но в данном случае на самом деле можно сказать, что имеется именно то самое третье, которого не дано. Оба *решения* верны одновременно.

Казалось бы, отброшены и здравый смысл и логика, однако рассмотрим ситуацию детальнее. Повторим, что парадокс близнецов в литературе часто имеет название "парадокс часов", который мы рассмотрели на примере часов Земли и звездолёта. Поскольку далее мы рассматриваем эквивалентный вариант парадокса, в котором две движущиеся относительно инерциальные системы отсчёта представим в виде двух условных железнодорожных составов, поездов, то парадокс мы назовём "парадоксом двух

поездов", которые в этом случае заменили традиционных близнецов, но на каждом из них установлены часы.

Поезда в нашем новом варианте имеют довольно непривычный вид. В качестве преемственности локомотив первого поезда отождествим с Землёй, а локомотив второго – со звездолётом, и дадим им соответствующие названия. Длину состава земного поезда с точки зрения его наблюдателей установим равной $3,6 = (4 \times 0,9)$ световых лет, то есть, равной расстоянию от Земли до звезды из предыдущего варианта с соответствующими пояснениями к нему. На тех же основаниях выберем и относительную скорость равной приблизительно 0,9 от скорости света.

Длину ИСО звездолёта, его поезда определим из условия его движения относительно Земли. Дистанцию до звезды, до хвостового вагона поезда Земли, который также для краткости мы будем называть звездой, звездолёт видит укороченной в два раза. Действительно, с его точки зрения движется не он, а ИСО поезда Земля – звезда. Следовательно, его длина машинисту локомотива – звездолёта, который также будем называть для краткости просто звездолётом, видна укороченной, равной $1,8 = (4 \times 0,9):2$ световых лет. Для наблюдения за движением звезды установим длину поезда звездолёта, равной этому пути, то есть, 1,8 световых лет. Понятно, что это не обязательно, мы можем взять длину поезда любой, но эта длина наиболее соответствует условиям задачи. Кроме того, отметим, что описанный локомотив поезда звездолёта находится в конце поезда, то есть, не тянет его, а толкает. В процессе относительного движения звезды и поезда звездолёта, звезда сначала приблизится к звездолёту, затем удалится от него на исходную удалённость.

Рассмотрим теперь, что нам известно о показаниях часов в каждой ИСО. Как и в предыдущем варианте в

начальный момент времени, в момент начала эксперимента, оба локомотива – Земля и звездолёт – находятся строго друг против друга. Каждый из их машинистов видит на своих часах и на часах встречного локомотива одни и те же показания часов – нулевые. Строго говоря, эти показания могут быть любыми, просто в последующих вычислениях нужно будет вычитать их из всех текущих измерений, вычислений времени. Поэтому для простоты мы и приняли, что в момент встречи локомотивов совершенно случайно показания их часов оказались равными нулю.

Понятно, что в описанном поезде звездолёта его пассажиры, наблюдатели в процессе путешествия не могут видеть показаний часов Земли, поскольку она с самого начала удаляется за его пределы. Поэтому добавим к поезду звездолёта такой же состав, но теперь уже позади него. Этот дополнительный состав локомотив теперь уже тянет, а длина его, как и толкаемого состава равна 1,8 световых лет. Теперь наблюдатели поезда звездолёта могут увидеть и зафиксировать показания часов Земли в тот момент, когда звезда достигнет локомотива – звездолёта. Таким образом, на поезде звездолёта будут известны реальные, наблюдаемые показания часов Земли и звезды. Как мы установили, в начальный момент движения показания часов Земли и звездолёта равны нулю. В момент, когда звезда поравняется со звездолётом, показания его собственных часов будут равны 2 годам, поскольку звезда прошла вдоль поезда звездолёта с заданной скоростью именно за это время: 2 = (1,8:0,9) года. Вследствие симметрии эту же дистанцию пройдёт и Земля, но с одним замечанием. Это движение определит показания часов в хвостовом вагоне поезда *звездолёта*, но не показания часов Земли. Для Земли этот дополнительный состав виден укороченным в два раза, длиной (1,8:2) = 0,9 световых лет, поскольку для Зем-

ли он является движущимся стержнем – ИСО звездолёта. Следовательно, на прохождение этого пути Земле потребуется (0,9:0,9) = 1 год. Таким образом, мы приходим к новому выводу, противоположному выводу, полученному в предыдущем варианте:

Часы Земли отстали от часов звездолёта и показывают в два раза меньшее время. Другими словами: часы в неподвижной ИСО (локомотив Земли) отстали от часов в движущейся ИСО (локомотив звездолёта). Однако противоречия в этом нет, этот итог находится в полном согласии с положениями специальной теории относительности.

Однако, это решение не полное: близнецы, часы ещё не встретились. Очевидно, что после разворота все участники пройдут те же обратные пути, что и прямые, и, следовательно, за то же время. То есть, вернутся они в исходную точку, потратив удвоенное время от начала движения: Земля – 2 года, звездолёт – 4 года. Казалось бы, налицо парадокс, противоречие, ведь ранее мы для этих же участников получили противоположный результат. Но противоречие это кажущееся. Рассматривая этот инверсный вариант, мы незаметно изменили смысл событий. Мы добавили состав к поезду звездолёта и сразу же перешли в эту ИСО, назначив её лабораторной, неподвижной, на что имеем полное право согласно принципу относительности.

Как и в рассмотренных других вариантах движения, здесь мы получим тот же эффект спешащих часов: поскольку личные часы машиниста Земли отстают от часов в звездолёте, то это прямо и означает, что те часы спешат. Повторим, что это прямое, строго корректное следствие специальной теории относительности. Парадокс спешащих

часов перешёл в ту ИСО, в которой часы отстают, в ИСО неподвижной Земли. Наблюдатель неподвижной ИСО – машинист локомотива – Земли будет видеть на всех проносящихся мимо него часах ИСО звездолёта ускоряющиеся показания. Время в ИСО звездолёта с точки зрения наблюдателя на Земле течёт быстрее.

Отметим также и проявление эффекта относительности одновременности. С точки зрения звездолёта, его ИСО события сближения Земли с хвостовым вагоном звездолёта и сближения локомотива звездолёта со звездой – события *одновременные*, поскольку показания часов вагона и звездолёта одни и те же – 2 года. Но с точки зрения Земли и её ИСО эти два события произошли в *разное* время, это *не одновременные* события. По часам Земли – старт в 0 лет, а завершение пути – через год после начала движения. Что будут при этом показывать часы звезды, нам неизвестно. Мы знаем лишь то, что по ним прошло то же самое время, что и по часам Земли, но нам неизвестны начальные показания часов звезды, поэтому неизвестны и конечные. Эти показания, очевидно, будут превышать показания часов Земли. Буквально это выглядит так, будто после сближения звезды и звездолёта Земля до разворота всё ещё двигалась.

3. Парадоксальное решение парадокса близнецов

Как мы заявили, *математическая* теория СТО корректна, и её невозможно опровергнуть никакими математическими мысленными экспериментами. Единственное "недоумение" может вызвать только реальность, физичность этих эффектов. Следует напомнить, что на самом деле никакие часы *физически* не замедляются, не идут медленнее, никакие отрезки *физически* не укорачиваются,

о чем, вообще-то, говорится и в самой теории. Все эти эффекты на самом деле мысленные, воображаемые, иллюзорные. Ранее эти выводы были изложены в авторской работе "Преобразования Лоренца как иллюзия".

Напомним приведённое выше утверждение из учебника: отстающими являются *единственные* часы в той системе отсчёта, в которой они сравниваются с *двумя* часами из другой системы отсчёта, и которое содержит, как мы заявили, хитрость, ведущую к малозаметной ошибке, представленной нами в виде парадокса спешащих часов. К слову, по поводу рассуждений о сопоставлении показаний часов следует отметить двойственность, и даже тройственность понятия "часы". В русском языке это слово обозначает как единственные часы, так и их множество, а также показания этих часов, поэтому трактовать его следует по контексту. Иногда, чтобы подчеркнуть, что речь идёт именно о часах, как часовом механизме, мы их будем называть хронометром или таймером. Приведённое мнение об определении отстающих часов можно привести в виде весьма, скажем так, специфического примера. В рассмотренном выше варианте парадокса двух поездов есть один тонкий момент: сравниваются часы в двух *разных* ИСО, собственная длина которых различна. Возникает естественный вопрос: а как будет выглядеть ситуация, решение, если две ИСО полностью тождественны, то есть, их наблюдатели видят одну и ту же длину собственной ИСО?

Итак, пусть встречно идут два *одинаковых* поезда. В момент встречи их локомотивов их часы оказываются в нулевых показаниях. Как мы приняли, совершенно случайно. Так же, как и ранее, зададим относительную скорость движения поездов равной 0,9 от скорости света, поэтому время в смежном, встречном поезде замедляется в два раза. Установим длину *каждого* поезда равной

9 = (0,9×10) световым часам, то есть, это очень длинные поезда, которые обозначим символами А и В. Такой поезд пройдёт полностью мимо некоторой станции за 10 часов. Для удобства будем считать, что поезд А – это звездолёт, он движется слева направо, а поезд В – это Земля со звездой, которые условно движутся справа налево. Также зададим время их движения – 15 часов. За это время хвостовые вагоны поездов окажутся точно друг против друга. Действительно, с точки зрения наблюдателей каждого из поездов, локомотив встречного прошёл путь в полтора раза больше длины поезда. Например, встречный поезд В виден с поезда А в два раза короче, чем он сам. Локомотив этого поезда В пройдёт всю длину поезда А за (9:0,9) = 10 часов, затем ещё за 5 часов удалится за него на свою "укороченную" для А в два раза длину (9:2):0,9 = 5, так, что его последний вагон в результате совместится с последним вагоном поезда А. Это и есть полуторная длина пути. Таким образом, с заданной скоростью с точки зрения наблюдателей поезда А локомотив В будет в пути 15 часов. Напомним, что вследствие симметрии это справедливо для каждого из поездов, то есть, в приведённых рассуждениях обозначения поездов А и В мы можем поменять местами.

В момент начала отсчета, в момент исходной, первой встречи локомотивов их машинисты видели на своих и чужих часах, как мы задали, показания 0 часов. Через 15 часов в пути каждый из них видит это время – 15 часов – только на своих *собственных* часах. Напомним, все часы в каждом из поездов синхронны в собственных системах отсчёта, иначе говоря, все часы в каждом из поездов показывают одно и то же *собственное* время, но отличное от собственного времени другого поезда. Следовательно, наблюдатели обоих поездов видят на часах в своём и встречном *хвостовых* вагонах это же время – 15 часов. Отметим это

особо: в момент совпадения хвостовых вагонов двух поездов их наблюдатели будут видеть одно и то же время, как на *собственных* часах, так и на часах *смежного* поезда – 15 часов. Для большей определённости поясним это. Каждый из наблюдателей А и В видят на *своих* часах в хвостовом вагоне показания 15 часов. Напротив них находятся наблюдатели встречных хвостовых вагонов. Глядя на одни и те же часы оба наблюдателя не могут видеть *разных* показаний: это одни и те же часы в одном и том же месте.

Но пока машинистам и другим наблюдателям показания часов, находящихся в локомотивах смежных поездов, неизвестны. Что могут сказать машинисты этих поездов по поводу часов во встречных локомотивах? Для определения времени, показаний собственных часов поезда В есть два подхода. Первый – это традиционный подход, который использует лоренцево замедление времени: просто учитываем релятивистское замедление часов. Поскольку в собственной ИСО поезда А прошло 15 часов, то с точки зрения машиниста поезда А в ИСО поезда В должно пройти в два раза *меньшее* время, то есть, 7,5 часов. Второй подход использует другой эффект Лоренца – уменьшение длин движущихся отрезков.

Здесь, как и в рассмотренном ранее случае, пассажиры, наблюдатели поезда А, звездолёта не могут увидеть показаний часов Земли, локомотива поезда В, поскольку они с самого начала удаляются за его пределы. Поэтому, как и в ранее рассмотренном случае, вновь добавим к поезду звездолёта дополнительный состав. Длину этого дополнительного состава выберем равной 4,5 световых часов. Это видимая длина встречного поезда В или половина длины собственного исходного состава поезда А. Следовательно, полная длина поезда А будет равна 13,5 световым часам. Теперь наблюдатели поезда А, звездолёта могут

увидеть и зафиксировать показания часов Земли в тот момент, когда звезда или хвостовой вагон поезда – Земли достигнет локомотива – звездолёта. В свою очередь наблюдатели поезда В видят, что мимо них движется "стержень" – ИСО поезда А, длина которого равна (13,5:2) = 6,75 световых часов. Следовательно, этот отрезок пути локомотив поезда В пройдёт за (6,75:0,9) = 7,5 часов. Это и будут показания часов, которые на часах локомотива В увидят как его машинист, так и наблюдатели нового хвостового вагона поезда А. И вновь укажем, что вследствие симметрии это справедливо для каждого из поездов, то есть, в приведённых рассуждениях обозначения поездов А и В мы вновь можем поменять местами. Дополнительный состав можно не принимать во внимание, поскольку его мы использовали только для контрольного измерения. Таким образом, мы приходим к выводу:

В строго симметричной системе каждый из наблюдателей видит показания собственных часов в два раза превышающие показания локомотива встречного, движущегося поезда. Это полностью соответствует принципу относительности теории.

Однако окончательным решением приведённые рассуждения не являются, поскольку после расставания участники, локомотивы и их часы повторно не встретились. То есть, строго говоря, машинисты судят о показаниях встречных локомотивов косвенно, по вычислениям, что не совсем совпадает с традиционной формулировкой парадокса близнецов. Поэтому дополним решение, организуем встречу локомотивов. Развернём поезда и произведём их встречное движение теперь уже в обратном направлении, в исходное состояние. При этом неважно, будет ли двигаться

один из поездов или оба сразу. Главное, чтобы их относительная скорость была той же – 0,9 от скорости света.

Рассмотрим локомотив А как неподвижный. Очевидно, что в момент встречи показания его часов возрастут на ту же величину – на 15 часов. Действительно, для него ничего не изменилось: та же его длина и та же скорость проходящего мимо локомотива В. Следовательно, в момент их встречи машинист А увидит на своих часах время 30 часов. А что увидят машинисты на часах локомотива В? В момент сближения хвостовых вагонов, с точки зрения машиниста А часы машиниста В показывали время 7,5 часов. Следовательно, можно предположить, что и на обратный путь у машиниста В уйдёт столько же времени. Следовательно, в момент их встречи показания часов машиниста В должны быть равны 15 часам. Но каждый из машинистов может считать, что неподвижным был он, а двигался встречный поезд, поэтому эти рассуждения верны для каждого из них, то есть, в них мы опять можем поменять местами обозначения поездов: машинист В должен увидеть на своих часах 30 часов. Получается, что на одних и тех же часах машиниста В в одном и том же месте два наблюдателя должны увидеть разное время! Это не просто парадокс, это – противоречие. Теория, которая делает противоречивое предсказание, не может считаться научной!

Заметим, что ситуация, вообще-то, странная, ведь ранее мы заявили, что математическая специальная теория относительности не может быть опровергнута никакими мысленными экспериментами. Что произошло? Специальная теория относительности сделала парадоксальное, и даже противоречивое предсказание?! Разумеется, ничего подобного нет. Просто нужно вспомнить об *относительности одновременности*. Проявилась она в момент начала обратного движения локомотивов и их часов. Посмотрим

на показания часов локомотива В, они равны 7,5 световым часам, и показания часов хвостового вагона поезда В, которые равны 15 световым часам. В момент начала обратного движения по одному и тому же событию в *каждой* ИСО, совмещению двух исходных хвостовых вагонов обоих поездов, эти показания, как видим, *разные*. Другими словами, в этот момент два события в ИСО поезда В не являются *одновременными*. Это события: 1. совмещение локомотива В и нового хвостового вагона поезда А; 2. совмещение двух исходных хвостовых вагонов двух поездов. Эти события *не одновременны* в ИСО поезда В, но в поезде А эти два события – *одновременны*! Действительно, в ИСО поезда А каждое из них произошло в один и тот же момент времени – 15 часов после начала движения. Но в ИСО поезда В – в разное время; первое – через 7,5 часов, а второе – через 15 часов после начала движения.

Как видим, одновременность этих двух событий относительна. Как можно трактовать их не одновременность? Трактовка довольно любопытна. Фактически она утверждает, что поезд В на момент разворота ещё не достиг своей конечной точки. Иначе, ещё более загадочно говоря, этот поезд, локомотив В после *остановки* его хвостового вагона рядом с встречным *продолжает движение*! Здесь следует очень и очень серьёзно напрячь воображение. Эта трактовка, как и сама относительность одновременности, требуют к себе предельно внимательного отношения. Можно сказать и более определённо. В какой момент времени по часам *своего* локомотива начал разворот поезд В? По часам хвостового вагона поезд В однозначно начал разворот через 15 часов после начала движения. Но для всех наблюдателей этого поезда часы показывают одно и то же время. Следовательно, если поезд В по "хвостовым часам", по событию сближения этих вагонов, начал разво-

рот через 15 часов, то однозначно этот разворот начат через 15 часов и по часам локомотива. Но в этом случае все различия между поездами исчезают, и "близнец" путешественник в момент новой встречи будет иметь тот же возраст, что и его брат "домосед". Более того, теперь уже не имеет значения, кого из двух близнецов считать путешественником, а кого – домоседом.

Заметим, что в ИСО А локомотив дошёл до заданной конечной точки *визуально*. Это связано с тем, что мы рассматривали ситуацию с его точки зрения, считая его неподвижным. Но он считает, что поезд В прошёл меньший путь. Что интересно, это мнение можно назвать *объективным*, его подтверждают конкретные наблюдения. Если мы для сравнения добавим к поезду В такой же дополнительный состав, то на момент разворота новый хвостовой вагон поезда В будет далеко позади локомотива А. То есть, при всей симметричности задачи окончательный анализ симметричным *не выглядит*. Наблюдателям поезда А кажется, что поезд В развернулся через 7,5 часов движения, а собственный поезд А – строго через 15 часов. Но эти выводы *иллюзорны* или *иллюзорно объективны*. Исходя из этого, мы неизбежно приходим к окончательному выводу:

Парадокс близнецов, часов или двух одинаковых поездов имеет единственное непротиворечивое решение: при повторной встрече показания часов обоих участников, близнецов, поездов будут равны.

Этот вывод столь же неизбежный, сколь и странный. Изначально из двух *полностью* тождественных ИСО мы рассматривали неподвижной ИСО поезда А, звездолёта. Неопровержимо, объективно, по результатам измерений отстали часы поезда В, земные, но, подчеркнём это: на

момент встречи хвостовых вагонов. Однако симметричность системы позволяет назначить неподвижной систему поезда В, Земли. В этом случае просто вследствие симметрии мы получим противоположное решение: столь же объективно отстанут часы поезда А, звездолёта. К этому решению мы приходим *неизбежно*, просто корректно используя принцип относительности, явление относительности одновременности и законы симметрии. Можно вновь повторить фразу, ставшую уже традиционной: все приведённые выше рассуждения будут столь же верны, если поменять местами обозначения поездов А и В.

В заключение добавим, что на этом странности не заканчиваются. Отбросим все "прикрепления" участников: локомотивы, вагоны, протяжённые ИСО. Оставим только пару часов: Землю и звездолёт. Пусть звездолёт со скоростью 0,9 от скорости света улетит от Земли на расстояние 13,5 световых часов, затем вернётся обратно. Вариант ничем не отличается от рассмотренного. Следовательно, после возвращения часы на звездолёте будут показывать то же самое время, что и часы Земли – 30 часов. Обращаем внимание: это точно соответствует положениям специальной теории относительности. И никакого парадокса.

Может показаться, что это связано исключительно с выбранными параметрами движения: дистанции, скорости. Но нет. Итог будет в точности таким же, даже если два участника (Земля и звездолёт) удаляются друг от друга с *любой* относительной скоростью на *любое* одинаковое расстояние, либо в течение *одинакового* времени по собственным часам. Слово "одинаковое" на самом деле лишнее, поскольку и расстояние, и время присутствуют, так сказать, в единственном экземпляре и имеют одно и то же значение с точки зрения каждого из участников. Здесь проявляется правило, не менее сильное, чем относительность одновре-

менности или принцип относительности. Это закон симметрии. Одинаковые действия ведут к одинаковым следствиям. Только не надо лукавить и ссылаться на квантовую механику, поскольку в ней *одинаковые* физические действия практически невозможны.

4. Загадочная математика

Итак, в первых трёх главах мы получили три *взаимоисключающих* решения. Действительно, как могло получиться, что в одном случае при встрече близнецов моложе оказался путешественников, во втором – тот, что был неподвижен, домосед, а в третьем они вообще оказались ровесниками? В этой связи уместно вспомнить притчу о спорщиках и Ходже Насреддине. Двое спорщиков обратились к Ходже, чтобы он рассудил, кто же из них прав. Выслушав одного, Ходжа сказал: да, ты прав! Затем он выслушал второго. И вновь заявил: да, ты прав! В этот момент мимо проходил прохожий. Услышав выводы Ходжи, он удивился: но ведь это невозможно, чтобы оба были правы. На это Ходжа вновь ответил: да, и ты тоже прав. В нашем случае трёх решений парадокса близнецов сторонники каждого из решений правы, правы все трое, но в отличие от притчи это выглядит однозначно возможным. Действительно, каждое из решений опирается на безупречную, строго доказанную математику специальной теории относительности или законы логики.

Единственным объяснением этого противоречия является то, что в этих решениях за неподвижную ИСО каждый раз мы выбирали одну из имеющихся двух. Более старым всегда оказывался тот близнец, который находился в этой неподвижной, лабораторной ИСО. Однако независимо от выбора этой лабораторной ИСО оба близнеца или

пара часов, хронометров, в конечном счете, встречались, оказывались рядом друг с другом. Все параметры этих двух ИСО тождественны. Следовательно, согласно логике, правильным должно быть только одно решение, то есть, в соответствие с формальной логикой, третьего не дано.

Впрочем, существует весьма странное и, заметим, спорное, либо неверно трактуемое ответвление логики – многозначная логика. Кратко рассмотрим её, насколько она "регулирует", согласует полученные нами решения парадокса близнецов. Если в формальной логике рассматривается опыт, эксперимент с бинарным исходом, например, подбрасывание монеты, когда итогом будет либо орёл, либо решка, то, как заявляется, например, в статье автора Джастмэн, в такой трёхзначной логике итогов может быть три и поэтому правило "не дано" формулируется иначе:

"Любое высказывание может быть либо истинным, либо ложным, либо не истинным и ни ложным одновременно. Четвёртого не дано".

Автор высказывания настолько убеждён в его истинности, что напечатал его прописными, заглавными буквами. По правилам интернет – форумов такое представление текста, высказывания трактуется как крик, громогласное заявление. Автор утверждает, что единственные два значения "истина" и "ложь" не являются полными альтернативами. Автор добавил третье и пронумеровал их тремя десятичными цифрами 0, 1, 2. Объявим такое "трёхзначное" утверждение и соответствующую ему нумерацию ошибочными. Десятичная нумерация оказалась коварной, поскольку скрыла весьма важное обстоятельство.

Обратимся к законам классической формальной логики и внимательно рассмотрим логическое правило "третьего не дано". Классически оно распространяется на опыты, имеющие *только* два *взаимоисключающих* исхода. В

приведённой цитате автор допустил волевое искажение набора исходов. Действительно, фактически в дополнительный, третий исход он объединил два исхода. С точки зрения формальной логики правильнее было сказать, что этот третий исход состоит из двух дополнительных исходов: оба первичные исхода истинны или оба ложны. Лишь на *поверхностный* взгляд эти два дополнительных, третий и четвёртый исходы тождественны. Действительно, для исходов "орёл и решка" это прямо означает, что в первом случае одновременно выпали и орёл и решка, а во втором не выпал ни орёл, ни решка. В этом случае следует говорить, что, не дано пятого.

Рассмотрим подробнее опыт с подбрасыванием монеты – один из самых наглядных опытов, подходящий под указанное описание. Два исхода: орёл и решка в формальной логике рассматриваются как предельно корректные. Исход опыта – это *наблюдаемое* явление. Обозначим каждое из событий орёл или решка бинарными числами: 1 – событие наступило и 0 – событие не наступило. То есть, в классической, формальной логике все итоги опытов можно записать как комбинацию [орёл – решка]: либо 10 (выпал орёл, решка не выпала), либо 01 (орёл не выпал, выпала решка). Никаким иным способом итог опыта при таком обозначении записать невозможно. Но эти бинарные *числа* составляют лишь часть их полного набора. Как видим, отсутствуют два исхода, обозначаемых числами 00 и 11.

Если эту отсутствующую пару чисел добавить в качестве дополнительных исходов, то записи будут иными: 00-01-10-11. Это полный набор, перечислены все возможные двузначные бинарные числа, поэтому итогов четыре и, как видим, не дано пятого итога. Но, подчеркнём, запись теперь означает, что в опыте добавлены ещё два исхода: 00 и 11 – *неизбежно, объективно*, вопреки желанию исследо-

вателя. Это связано исключительно со способом нумерации. В классической формальной логике, согласно этой нумерации, каждый из двух возможных исходов в опытах с монетой описываются единственным числом: либо 1 – исход получен, например, выпал орёл, либо 0 – исход не получен, например, орёл не выпал. Здесь действует классическое правило "третьего не дано". Таким образом, правила "следующего не дано" является простым следствием нумерации событий. Подобные исследования логических правил описаны в авторской книге "Логика противоречий".

Уточняя или исправляя описанное выше правило "четвёртого не дано", объявленное нами ошибочным, мы в опыты с той же монетой *принудительно* добавили ещё один исход, вернее разделили на два исход, сформулированный в правиле, которое описал Джастмэн. Правильным в этом случае становится правило "пятого не дано". То, что такое правило возможно, можно показать на ещё одном, весьма интересном примере. В одном художественном фильме есть такой эпизод. Два бойца готовились к переходу. У них был груз – довольно тяжёлая рация. Кому её нести? Один из них решил схитрить и предложил: Подбросим монету. Если орёл – несёшь ты, если решка – несу не я. Однако, второй боец тоже был не промах. Он согласился, но подбрасывание монеты взял на себя. Подброшенная монета упала... на ребро! Можно ли сказать, что правило "третьего не дано" не сработало? Строго говоря – нет. В данном случае можно было бы говорить о трёхзначной логике, поскольку здесь предполагаемый набор событий равен трём: орёл, решка и ни то, ни другое. Однако, это тоже неверно. Мы только что описали правильный полный набор исходов подбрасывания монеты: 00, 01, 10, 11.

Два из них мы привели выше, это традиционные либо орёл 10, либо решка 01. Но что значат два других

числа: 00 и 11? Словесно эти события можно описать следующим образом: 00 = ни орёл, ни решка, и 11 = и орёл и решка. Конечно, это странная трактовка, поскольку монета выпадает либо орлом, либо решкой. Или в логических терминах: ни то, ни другое или и то, и другое одновременно. В приведённом эпизоде из фильма падение монеты на ребро мы имеем право рассматривать как исход 11 = "и то, и другое", поскольку наблюдателю видны и орёл и решка. А что тогда означает исход 00? Это тоже достаточно очевидно. Наблюдатель не видит ни орла, ни решки. Это явно подходит под случай, когда монета вообще не упала. Она, например, улетела неизвестно куда, ветром её унесло. Либо её на лету подхватила какая-нибудь сорока-ворона. В этом случае мы имеем 4 явно существующих исхода опытов с монетой, в которых один из этих исходов наступит *обязательно*. Следовательно, отсюда и следует новое правило: пятого не дано. Такую логику следует назвать четырёхзначной. Правило: четвёртого не дано справедливо только в случае, если возможны только и только три исхода. Но это в рассматриваемых примерах, строго говоря, принудительное ограничение числа возможных исходов.

Заметим, что подобные формулировки логик как *многозначных* определённо – лукавство. Все они обязаны и строго подчиняются классической формальной логике. Например, мы можем рассматривать логику подбрасывания "кубика" в виде прозрачного тетраэдра с цифрами от 1 до 4 на гранях. При падении на любую из граней, мы будем видеть на нижней грани одно из этих чисел. Очевидно, что исходов только 4 и для них также "пятого не дано". Но и здесь может проявиться эффект, как с монетой. Мы можем так же, как и в случае с монетой, добавить форс-мажорные исходы. Тетраэдр улетел в космос. Или упал, воткнувшись в мягкую почву одной из вершин. То есть,

итогов будет теперь уже на 5 больше. Есть и более распространённый пример: игровой кубик с шестью гранями. Для него в традиционном применении возможны шесть исходов, то есть, если без форс-мажора, то седьмого не дано.

В нашем исследовании парадокса близнецов мы так же, как и в случае с подбрасыванием монет, можем использовать бинарное обозначение исходов в парадоксе. За основное событие примем "близнец при повторной встрече моложе" и обозначим его единицей. Если это событие не наступило, то его значение равно нулю. Для двух первых решений в главах 1 и 2 мы имеем два возможных взаимоисключающих исхода: 01 и 10, то есть, моложе либо первый близнец, либо второй. Эти итоги получены корректно, строго по правилам специальной теории относительности. Однако, согласно принятому нами бинарному представлению, возможны ещё два исхода: 00 и 11. Поскольку в главе 3 мы обнаружили ещё один исход – близнецы будут ровесниками, то этому исходу мы можем присвоить одно из этих чисел. Исход, очевидно, звучит как "моложе ни тот, ни другой". То есть, ни один единичный исход не наступил ни для одного из близнецов. Следовательно, этот исход явно следует обозначить как 00. Но что тогда обозначает итог 11? В той же терминологии следовало бы описать его как: "моложе и тот, и другой", то есть, опять же, ровесники. Строго говоря, итоги 00 и 11 можно поменять местами, но вариант 00 имеет разумное соответствие с результатами вычислений в третьей главе. Поэтому итогу 11 правильнее всё-таки присвоить другой смысл: близнецы не встретились по какой-либо причине. В этом случае каждый из них вправе считать, что он при встрече *был бы* моложе.

При таком изобилии "правильных" решений неизбежно возникает вопрос: так кто же из них моложе *на самом деле*? В интернете можно встретить утверждение, что

Эйнштейну принадлежат слова: с помощью математики можно доказать что угодно, в том числе и ошибочную теорию. В наших рассуждениях "что угодно" относится к *решению* парадокса близнецов. То есть, можно сказать, что с помощью математики СТО можно доказать что угодно, то есть, любое решение парадокса близнецов. Справедливость самой теории сомнению не подвергается, хотя цитата определённо к этому подталкивает. Поэтому добавим свою точку зрения: то самое "что угодно" определяется квалификацией того, кому принадлежит это доказательство, и тем, как он использует эту математику. Напомним, "что угодно" с помощью математики СТО, а конкретно два взаимоисключающих исхода плюс третий по закону симметрии получили мы. Скромно обходя вопрос о собственной квалификации, предположим, что математику специальной теории относительности мы использовали неверно. Возможности собственно математики нигде сомнению не подвергаются. Например, как пишет Линде:

"Существует вопрос, давно волнующий людей, задумывающихся об основаниях математики: *почему математика столь эффективна при описании нашего мира и столь хорошо описывает его эволюцию?* ... Существуют некоторые правила, помогающие нам оперировать с математическими символами и связывать эти операции с результатами наблюдений. Почему эти правила так хорошо работают?"

Фактически с ним соглашается Виленкин, описывая предсказательные, прогностические способности математики, используемой физиками:

"Чаще случается ... так: ... физики обнаруживают, что математические построения, необходимые им для описания нового класса явления, уже исследованы математи-

ками по причинам, не имеющим ничего общего с обсуждаемыми явлениями".

Формально этих же взглядов придерживается и Мичио Каку, который упоминает работу Вигнера с весьма красноречивым названием "Необъяснимая эффективность математики в естественных науках". Впрочем, есть высказывания и немного более общего характера. Например, Топтунова в своей статье пишет:

"Кто-то из физиков сказал примерно следующее: что я не понимаю без математики, то я не пойму и с математикой".

Буквально это можно трактовать, что для понимания какого-то явления математика не является остро необходимой. В нашем случае парадокса близнецов это высказывание можно конкретизировать. Если физик не может увидеть верное решение без математики СТО, а точнее, используя вместо неё другие законы, например, законы симметрии, то и с помощью математики СТО он не считает возможным получить верного решения. Прежде чем рассматривать ситуацию с парадоксами и противоречиями более придирчиво, уточним некоторые понятия. Согласно, в частности, Википедии:

"Парадокс – слово, составленное из двух древнегреческих слов: "неожиданный; странный" или "против, вопреки" и "мнение; представление; предположение". В широком смысле парадокс – это высказывание, мнение, рассуждение, которое расходится с общепринятым мнением и кажется нелогичным или противоречащим здравому смыслу (зачастую лишь при поверхностном понимании)".

Цитату мы немного поправили, укоротили. Как видим, такая трактовка понятия лишь *описывает* явление, не объявляя его невозможным, противоречивым. Здравый смысл здесь не является арбитром, а слова "зачастую

лишь" следовало бы удалить, чтобы полностью исключить трактовку парадокса как противоречие. Далее там же даётся ещё одна трактовка, с позиций формальной логики:

"В логике "парадоксом" называют формально-логические противоречия, которые возникают при сохранении логической правильности рассуждения. Парадокс возникает, когда два взаимоисключающих (противоречащих) суждения оказываются в равной мере доказуемыми".

Здесь практически производится отождествление парадокса и противоречия. В первом предложении, правда, говорится о "формальном" противоречии, то есть, кажущемся противоречии. Но во втором предложении уже приводится формулировка не парадокса, а противоречия. Там же, на Википедии, даётся определение и противоречия:

"Противоречие – отношение двух понятий и суждений, каждое из которых является отрицанием другого. В формальной логике противоречие считается недопустимым согласно закону противоречия".

Отметим это определение как неполное, ограниченное, поскольку описывает *директивное* противопоставление понятий, содержит явное *указание* их взаимного отрицания. Это неконструктивный подход, который допускает признание истинным ложного утверждения. Необходимо указание, что каждое из утверждений должно быть доказанным. Например, два утверждения "Лебедь – это птица" и "Лебедь – это не птица" являются *взаимоисключающими* утверждениям. То закон противоречия в этом случае выглядит весьма странно, поскольку второе утверждение ложно по определению, но логически может быть объявлено истинным. В определение противоречия, между двумя предложениями желательно и даже необходимо вставить второе предложение из определения парадокса с небольшой, но важной поправкой:

"Противоречие возникает, когда два *взаимоисключающих* суждения оказываются в *равной* мере доказуемыми".

Упоминаемый закон противоречия для двух взаимоисключающих, но непротиворечивых самих по себе, событий нередко формулируется как "третьего не дано". В рассматриваемых нами вариантах решения парадокса близнецов, как мы объявили, таких взаимоисключающих событий четыре, поэтому соответствующий закон противоречия "наступить может только одно из взаимоисключающих событий" в вольной формулировке звучит иначе: "четвёртого не дано". Кстати, в примере с лебедем мы можем легко перейти к этой формулировке: лебедь и птица и не птица; лебедь и не птица и не "не птица". Странно? Но примерно так выглядит корпускулярно – волновой дуализм в квантовой теории. Квантовая частица – одновременно и корпускула и волна, просто она проявляет эти свойства по обстоятельствам.

Но мы немного отдалились от основной темы – парадокса близнецов и полученных нами трёх его решений. Всё-таки, какое решение парадокса близнецов из трёх представленных следует признать верным? Арбитром, определяющим верное решение, может выступить решение в третьей главе. Это итоговое решение парадокса близнецов мы объявляем единственно верным. Оно имеет вид 00 в бинарной нумерации: в момент встречи моложе не будет ни тот, ни другой близнец, они окажутся ровесниками.

Однако это решение "тянет" за собой очередной парадокс, впрочем, заметим, также кажущийся: строго корректные даже на придирчивый взгляд решения СТО в первых двух главах мы вынуждены признать ошибочными или, по меньшей мере, неточными. Но почему? Ведь мы строго корректно использовали *непротиворечивую* мате-

матику СТО, которую сами же объявили математически *неопровержимой*! Не означает ли это, что СТО – теория ошибочная и парадокс близнецов для неё – камень преткновения? Выясним это.

В заключительных рассуждениях в главе 3 мы отбросили от рассматриваемых часов вспомогательные добавления: локомотивы, вагоны, протяжённые ИСО. То есть, в каждом из расчётов, в главах 1, 2 и 3 мы рассмотрели теперь уже два *точечных* объекта. Сначала они находились в одной точке, затем разошлись, после чего сошлись снова в той же исходной точке. Подчеркнём: визуально все эти три опыта *тождественны*! Каждый из этих опытов, *любой* мы можем рассматривать как: "левый в покое, правый движется"; "правый в покое, левый движется"; "движутся оба". При этом дистанция, на которую они разошлись, может быть любой. Почему же мы получили три *разных* решения, хотя все три ситуации *эквивалентны*?

В варианте с разными длинами ИСО, в главах 1 и 2 мы обнаружили отставание часов *короткой* ИСО. В варианте с одинаковыми ИСО часы вернулись с равными показаниями. Не противоречит ли это новому варианту, с ИСО точечными, "нулевой" длины? Нет, не противоречит. Напротив, именно в этом варианте вскрывается удивительное решение, единственно верное: *во всех трёх* вариантах парадокса (главы 1, 2, 3) близнецы в момент встречи будут иметь один и тот же возраст.

Покажем это явным образом: во всех трёх решениях при повторной встрече близнецы будут ровесниками, а часы – таймеры, хронометры покажут одно и то же время. Для этого вновь обратимся к закону симметрии. Рассмотрим одно из решений глав 1 или 2, хотя после отбрасывание вагонов они визуально становятся в точности одним и тем же. То есть, мы рассмотрим, по сути, сразу оба реше-

ния. Проверим, как они соотносятся с решением в главе 3, объявленным нами единственно верным.

Суть решения в третьей главе состоит в том, что двое часов удаляются от некоторой исходной точки с одинаковыми скоростями, а затем вновь возвращаются в эту же точку. И сразу же замечаем: два других решения тривиально сводятся к этой же ситуации. Действительно, в этих решениях с движением вторых часов мы можем заметить такую же "исходную точку". Это точка, в которой эти часы находятся в начальный момент времени. Одни из часов начали движение с известной скоростью относительно других. А что же "исходная точка"? Она тоже пришла в движение. Условно, разумеется. Однако мы можем в неё поместить "нейтрального" наблюдателя. Скорость этой точки и наблюдателя одна и та же относительно исследуемых часов. Она равна половине заданной в опыте скорости, то есть, примерно, 0,45 от скорости света. Следовательно, мы получаем в точности ту же самую картину, картину, описанную в главе 3. Следовательно, итог, так же, как и там, не будет зависеть ни от дальности полёта, ни от времени в пути по собственным часам участников, ни от размеров их ИСО. В данном случае, условно неподвижной, лабораторной ИСО является ИСО "исходной точки" и "нейтрального" наблюдателя. Итак:

В рядовой задаче специальной теории относительности с часами или близнецами, именуемой парадоксом близнецов, при их удалении друг от друга с последующим возвратом в исходную точку часы покажут одно и то же время, а близнецы останутся ровесниками. Не имеет значения, двигался ли кто-то один из участников или оба сразу, и на какое расстояние они удалились друг от друга.

Ещё раз сформулируем, более развёрнуто известные взгляды на возможность решения парадокса близнецов. Их три и они имеют следующий вид:

1. В специальной теории относительности, СТО парадокс близнецов (часов) не имеет решения.

2. Согласно принципу относительности моложе будет или путешественник или домосед.

3. В СТО парадокс имеет строгое решение: близнецы останутся ровесниками.

С учётом этих взглядов, рассматривая парадокс близнецов и получив его строгое решение по п.3, мы вынуждены сделать обобщающий вывод, вывод неизбежный: *тривиальную* специальную теорию относительности в полном виде не понимает никто, даже её автор. Например, он заявил, что движущиеся на экваторе часы отстают от часов на полюсе *согласно этой теории*. Мы выделяем фразу "согласно этой теории", поскольку это утверждение ошибочно. В частности по следующей причине. Если движущиеся часы отстают от вращающихся *согласно* СТО, подчеркнём: *согласно СТО* и ничему более, то отбрасывается их отставание за счёт эффектов теории гравитации, общей теории относительности – гравитационного замедления времени. Конечно, на момент формулировки этого тезиса автор теории ещё не сформулировал ОТО, но теперь-то мы обязаны это учесть. В рамках математики СТО это утверждение ошибочно.

Однако, поскольку мы корректно выполненные вычисления в главах 1 и 2 объявили ошибочными, неточными, сразу же возникает неизбежный вопрос: а в чём, собственно, заключена ошибка этих решений, решений, приведённых в первой и второй главах? Что именно в этих решениях ошибочно, какое из их утверждений?

Собственно говоря, это можно увидеть в уже приведённом анализе. Все решения сводятся к решению в главе 3. И там мы увидели, два взаимоисключающих "взгляда": на одних и тех же часах, в одном и том же месте два наблюдателя видят *разные* показания. Причина заключалась в том, что "неподвижный" наблюдатель, как мы показали, *ошибочно* определял время разворота движущегося. В решениях глав 1 и 2 такие же два наблюдателя *согласились* с тем, в какое время был разворот путешественника. А именно: по их согласованному мнению они определили время разворота *меньшее*, чем оно было в реальности. Это согласие, в свою очередь, отчётливо демонстрирует *кажущийся, иллюзорный* характер преобразований Лоренца. Время разворота *оба* наблюдателя определяли по *иллюзорным* представлениям наблюдателей Земли о часах звездолёта. Это настолько завуалированная ошибка, что обнаружить её оказалось возможным лишь после перехода в симметричную лабораторную систему отсчёта. В этом случае остаётся только два выхода: признать ошибочной всю специальную теорию относительности, либо... это альтернативное частное решение. Заметим, что это решение не относится к его "парадоксальной" части, то есть, после использования принципа относительности.

Как мы указали, в решениях глав 1 и 2 время разворота определено ошибочно, причём согласованно обоими наблюдателями, при этом с соблюдением принципа относительности. Этот принцип, первый принцип СТО сформулирован следующим образом:

"Законы, по которым изменяются состояния физических систем, не зависят от того, к которой из двух координатных систем, движущихся относительно друг друга равномерно и прямолинейно, эти изменения состояния относятся" (Эйнштейн).

Заметим, что эта формулировка является предельно общей, но скрывает важное обстоятельство. Несомненно, законы не зависят от системы отсчёта. Но регулируемые ими *изменения* состояния систем – зависят. В этом и заключена *суммарная* ошибочность решений глав 1 и 2, то есть, если рассматривать их оба одновременно. В этих решениях две системы отсчёта *разные*! Следовательно, изменения их состояний тоже различны. Действительно, в первом решении, в главе 2 путь, который проходит звездолёт, принадлежит ИСО Земли, являющейся в этом случае лабораторной ИСО, условно неподвижной. Во втором решении – звездолёту, в котором теперь уже лабораторной ИСО является ИСО звездолёта. В первом решении движется звездолёт, во втором – звезда. По сути – это две *разные* ситуации, *разные* задачи. В решении главы 3 мы, переходя из одной ИСО в другую, формально рассматривали решение с точки зрения третьей, симметричной ИСО. Однако, удалив все дополнительные элементы, оставив только "точечные" часы, мы обнаружили, что все три задачи *физически* неразличимы. Фактически мы "отключили" и принцип относительности, поскольку решение оказалось возможным только в единственном его варианте: строго симметричное, строго абсолютное *относительное* движение. Только в этом случае мы можем получить *непротиворечивые* показания времени движения для обоих участников. Переходя от одного решения к другому, мы обязаны привязать дистанцию движения к одной из двух систем. В противном случае, без привязки мы получим решение, созвучное с решением в главе 3: моложе всегда будет движущийся близнец. Абсурд снимается, если они ровесники.

Таким образом, причиной ошибочности решений в главах 1 и 2 является директивная *привязка* дистанции к той или другой ИСО. Старше будет тот близнец, чья ИСО

назначена неподвижной, лабораторной, то есть, фактически означает *отказ* от принципа относительности в глубоком смысле. Попытка прямо следовать ему, что мы и сделали в двух первых главах, привела не просто к парадоксу, а к противоречию, абсурду.

Странно, но за сто с лишним лет ни один из специалистов не заметил этого, вообще-то, простого решения главы 3. Здесь вполне уместно процитировать одну историю, имеющую вид притчи. Нам неизвестно, происходила ли описанная ситуация на самом деле. Её текст, который можно найти в интернете, выглядит примерно так:

"Однажды известному английскому физику и астроному задали вопрос:

- Сэр, правда ли, что вы один из трех человек в мире, которые понимают специальную теорию относительности Эйнштейна?

Наступило неловкое молчание – ученый явно затруднялся с ответом. Тогда спрашивающий поспешил исправить положение:

- Может быть, сэр, я что-то неправильно сказал? Мне, видимо, сэр, следовало бы догадаться, что вы, сэр, при всей вашей скромности, сочтете мой вопрос несколько бестактным. В таком случае, сэр, позвольте...

- Ничего-ничего, – благодушно прервал его астроном, – Просто я задумался, пытаясь вспомнить, кто же этот третий..."

Притча, как правило, обязана заканчиваться какой-то поучительной или оригинальной, остроумной развязкой. В комментариях к приведённому тексту астроном представлен как весьма остроумный человек, в чём никто не сомневается. В источниках, где описана эта ситуация, об этом говорится прямо. Мы назвали этот рассказ притчей, чего до нас этого, похоже, никто не делал. Поэтому сдела-

ем ещё один шаг и более явно преобразуем рассказ в притчу. Или в анекдот? Добавляем следующий фрагмент: Но в этот момент мимо проходил Ходжа Насреддин. Услышав разговор и извинившись, что встрял, Ходжа спросил: "Сэр, а вы уверены, что знаете двоих первых?".

В сущности, описать причину столь долгого заблуждения можно следующим высказыванием кого-то из классиков: Идея, которую *вколотят* в головы масс, становится материальной силой. Оригинал этого высказывания выглядит несколько иначе, более завуалированно. Мы же привели его в самом откровенном виде, не требующем догадок и трактовок. Похожий смысл имеет ещё одно высказывание: "Не важно, как проголосуют, важно как посчитают". Действительно, с появлением специальной теории относительности множество преподавателей преподносили ученикам расчёты, решение Эйнштейна, не анализируя его и формируя всё новых и новых преподавателей с такими же взглядами. Однако и противники теории тоже оказались под давлением именно такого *навязанного* решения.

Приведённое в главе 3 решение впервые было представлено в декабре 2004 года в статье "Парадоксы СТО: парадокс симметрии (синхронизации)" на сайте Научно-технической библиотеки SciTecLibrary. Решению было дано такое же название "парадокс синхронизации" или "парадокс симметрии". В той статье мы пришли к выводу:

"Возвращаясь ... к инерциальным участкам на траекториях братьев (участки симметричных ИСО), ... на которых оба брата движутся инерциально, мы обнаруживаем, что на этих участках парадокс "двух возрастов" не компенсируется: при встрече близнецов на Земле каждый из них должен быть моложе своего брата. ... инерциальные участки движения приводят к тому, что каждый из братьев должен быть моложе своего брата, что является абсурдом".

Сейчас, а именно: 25 октября 2022 года, это решение мы рассмотрели повторно и более детально. Заметим, что в самом этом решении, вообще-то, нет никакого парадокса, в том числе, в традиционной трактовке.

5. Парадокс близнецов в ОТО

Парадокс близнецов, напомним, является одной из старейших задач, сформулированных в специальной теории относительности и названных автором, Эйнштейном "своеобразным следствием" теории или теоремой. Согласно положениям теории, её фундаментальному принципу относительности, это следствие, задача в дальнейшем была представлена в виде парадокса. В соответствии с её математическим формализмом после путешествия одного из близнецов, путешественник при их повторной встрече должен был быть моложе своего брата. Однако, согласно тому же принципу относительности, это же следовало бы сказать и о близнеце, остававшемся неподвижным. Именно в этом и состоит суть парадокса: не могут же два близнеца одновременно быть моложе друг друга. Никому из исследователей не удалось привести приемлемое решение этого "парадокса", поэтому убеждённые сторонники специальной теории относительности, релятивисты выдвинули гипотезу, вернее, директивное решение: в специальной теории относительности "парадокс близнецов" не имеет решения. Такой директиве способствовала публикация нового раздела теории: общей теории относительности, ОТО или теории гравитации. Все исследователи сразу же сошлись во мнении, что в этой теории парадокс получил окончательное и непротиворечивое решение.

Однако, следует заметить, решение получил не парадокс близнецов, а его некоторое отдалённое подобие. В

общей теории относительности ничего парадоксального в парадоксе близнецов нет, для неё это рядовая задача. Действительно, противоречивой разницы возрастов близнецов в этой задаче нет, поскольку они находятся в разных ситуациях. Один из них находится в инерциальной системе отсчёта, а другой в неинерциальной. При желании парадокс можно углядеть в другом: общая теория относительности в каком-то смысле *противоречит* специальной теории. Если в неинерциальной системе отсчёта часы путешественника отстали от неподвижных, то, согласно СТО, это отставание вызвано исключительно их инерциальным движением и никак не связано с гравитацией. Напротив, с точки зрения ОТО часы отстали как за счёт эффекта эквивалентной гравитации, так и за счёт относительного движения. Гравитация в этой задаче связана с принципом эквивалентности общей теории относительности, согласно которому ускоренное движение создаёт тот же эффект, что и реальная сила гравитационного притяжения.

Этот подход к парадоксу близнецов получил всеобщее одобрение в так называемой официальной науке: парадокс близнецов не имеет решения в специальной теории относительности, но решён окончательно в общей теории относительности. Однако этот подход ошибочен. В первых главах этой статьи мы показали: в специальной теории относительности парадокс не только имеет непротиворечивое решение, но этих *непротиворечивых* решений три. Более того, два из них совершенно не согласуются с традиционными представлениями о парадоксе близнецов, а третье вообще разрушает всякие представления об истинности специальной теории относительности. В самом деле: фундаментальные положения теории, преобразования Лоренца в этом третьем решении оказываются иллюзорными, отвергнутыми: никакого отставания часов в движущейся

ИСО нет. Неизбежно должен возникнуть вопрос: а можно ли назвать решением парадокса близнецов такое решение, которое отвергает верность выводов самой теории? Но в данный момент нас интересует другой вопрос: если мы получили в специальной теории относительности, СТО непротиворечивое решение парадокса *вопреки* заявлениям релятивистов и поддерживающей их официальной науки, то будет ли верным другое их заявление о непротиворечивости решения в другом разделе теории, в теории гравитации, ОТО? Решение в СТО мы получили самым естественным способом: прямыми вычислениями. Обратимся к этому же способу и при анализе решения парадокса в общей теории относительности.

Следует отметить, что таких решений парадокса в литературе оказалось немного. Более того, все они оказались весьма спорными, и даже, заявим прямо, – ошибочными. В каждом из них присутствуют утверждения, не имеющие *убедительных* обоснований, которые следует назвать не иначе как математическими фокусами, подобными цирковым. Вместе с тем, при изучении выкладок разных исследователей парадокса обнаружились довольно простые уравнения и алгоритмы. Сочетание компьютерных вычислений, обнаруженных уравнений и инструмента программного создания скриншотов позволило наглядно описать решение парадокса близнецов, *считавшееся* окончательным. Однако, на удивление, оказалось, что это решение неточное, имеет *неприемлемо* высокую погрешность. В нашем исследовании решения парадокса мы использовали уравнение, предложенное в одной из книг, посвящённых парадоксу. Это уравнение, которое для краткости мы здесь не приводим, внешне похоже на уравнение преобразования Лоренца, которое мы вывели в данной книге в главе (Глава "Истоки..."). Разница состоит в том,

что это уравнение имеет дополнительное слагаемое в стандартном подкоренном двучлене. Это дополнительное слагаемое учитывает влияние гравитации на темп хода движущихся часов и представляет собой приближённое выражение точного уравнения гравитационного потенциала, предложенного Эйнштейном. Точное уравнение разлагается в ряд Тейлора, после чего слагаемые высших порядков отбрасываются, в определённой степени уменьшая точность выражения. То есть, мы использовали в вычислениях на первом этапе *приемлемо* точное выражение уравнения Лоренца для замедления темпа хода движущихся часов.

Для исследования решения мы сформировали модель процесса, предельно соответствующую традиционному описанию парадокса близнецов. Участников как обычно двое: близнец на Земли или его часы, и близнец – путешественник со своими часами. Поскольку мы рассматриваем вариант задачи в общей теории относительности, то нет никаких проблем с возвращением путешественника обратно на Землю. Мы традиционно используем для путешествия звездолёт, но особо акцентировать внимание на этом обстоятельстве мы не будем. Режим движения задаём в следующем виде:

Откуда-то издалека путешественник летит к Земле с некоторым ускорением. После того, как его скорость достигает использованной нами ранее величины 0,866 от скорости света, двигатели отключаются и звездолёт движется как ИСО, с неизменной достигнутой скоростью. В момент прохождения мимо Земли оба участника сбрасывают показания своих часов в ноль. На звездолёте включаются тормозные двигатели, поэтому он начинает двигаться с замедлением. В этом случае задача напоминает задачу с брошенным вверх камнем или мячом. В общем виде задача является классической задачей физики Ньюто-

на, поэтому очевидно, что через некоторое время мяч-звездолёт вернётся в исходную точку вблизи Земли и будет иметь ту же скорость, что и при первом пролёте, то есть, 0,866 от скорости света. В этот момент оба участника сравнивают показания своих часов. Согласно объявленному официальному, релятивистскому решению часы путешественника отстанут от часов на Земле.

Для объявления парадокса или его отсутствия мы обязаны рассмотреть четыре измерения времени. С точки зрения землянина – это измерение показаний его собственных часов и показаний часов на звездолёте. С точки зрения путешественника – это также два измерения, тех же показаний: его собственных часов и часов на Земле. Парадокс возникает, если оба участника увидят *разные* показания хотя бы на одних часах. Согласно релятивистскому решению этого не произойдёт: оба участника будут видеть одни и те же показания на одних и тех же часах: земных и на часах звездолёта. Но это в теории. А что на практике? Вернее, что дают *вычисления*, использующие математику теории относительности, поскольку реальных физических экспериментов со звездолётом никто никогда не проводил.

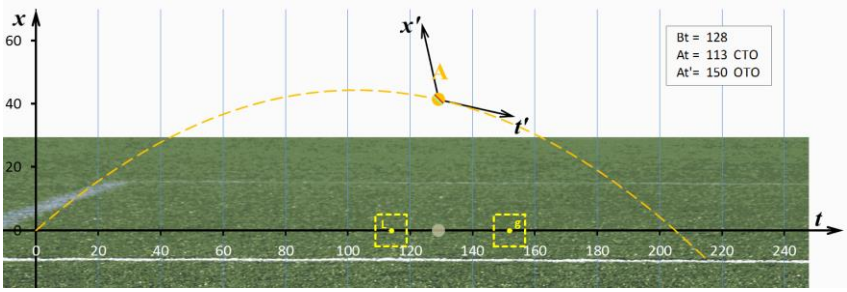

Рис.5.1. Диаграмма Минковского – наглядная демонстрация принципа эквивалентности общей теории относительности на примере решения "парадокса близнецов". Картина с точки зрения близнеца В на космическом корабле [56].

Используя инструменты для создания анимаций, мы изобразили окончательное решение в нашей статье "Итак, парадокса (близнецов) больше нет!" в виде обобщённой анимации рис.5.1. Анимацию мы назвали обобщённой, поскольку она представляет не только картину с точки зрения звездолёта, но содержит также данные, наблюдаемые из системы отсчёта Земли. Анимация представляет собой динамическую диаграмму Минковского, которая "положена на бок". В традиционной диаграмме ось времени направлена вертикально, на нашей – горизонтально, что соответствует классической физике Ньютона и больше подходит для демонстрации задач с броском мяча вверх или выстрела из пушки. Ось времени в этих случаях может трактоваться как вторая координата для движущегося снаряда, поскольку связь между временем и расстоянием пропорциональна горизонтальной скорости.

На диаграмме, на анимации зелёной лужайкой или футбольным полем изображена система отчета космического корабля. На поле даже видна белая разметка. Нет никаких принципиальных препятствий считать, что космический корабль достаточно большой и на нём есть такое полноразмерное футбольное поле. На числовой шкале диаграммы, на анимации вдоль горизонтальной разметки "футбольного поля" движутся три метки: квадрат с буквой L внутри, полупрозрачный круг и квадрат с буквой g. Буква L обозначает, как уже было сказано, традиционный, лоренцев "парадокс близнецов". Это темп хода часов, показания этих часов, без учета гравитации. Это "неправильные" часы. Полупрозрачный кружок – это, как нетрудно догадаться, тень от "мяча" – Земли, показывающая равномерный ход часов на корабле – время "настоящего". В момент "падения" Земли – мяча на лужайку, она сливается с собственной тенью. И, наконец, "правильные" гравитаци-

онные часы g, которые движутся по оси времени t, отмечая на ней время, которое соответствует расчетам по правилам общей теории относительности. Это показания часов Земли с точки зрения звездолёта.

Можно условно назвать горизонтальную ось диаграммы циферблатом всех перечисленных часов. Движущиеся метки L, g и тень – стрелками этих часов. То есть, положение меток, стрелок отображают показания соответствующих часов. По условиям задачи мы задали начальную и конечную скорость движения звездолёта, в момент нахождения его в окрестности Земли. На этом поле кто-то из игроков подбросил высоко вверх мяч. Обычный резиновый детский мяч, с двухцветной полоской по экватору. Задача, как видим, и в самом деле очень напоминает задачу из классической физики с подбрасыванием вертикально вверх мяча или камня. Ну, или можно с не меньшими основаниями считать, что мяч брошен под углом к горизонту. Или это был выстрел из пушки и мяч – это на самом деле артиллерийский снаряд. Всё это тождественные ситуации, картины. В частности, в одной из своих статей физик Окунь сделал похожее замечание:

"Представьте себе камень, подброшенный с земли и находящийся в верхней точке своей траектории".

Но наша диаграмма, анимация ещё более условна. Мяч на самом деле, вовсе и не мяч, не камень и не снаряд. На самом деле это планета. Земля. И эта планета, как мяч, находится в свободном падении в "гравитационном" поле корабля. Но почему движущейся мы обозначили Землю? Напомним, что в реальности, по условиям задачи движется звездолёт, а Земля неподвижна. Дело в том, что здесь мы используем всю мощь математического аппарата общей теории относительности, а также отчасти, условно принцип относительности специальной теории относительно-

сти. Действительно, два наблюдателя движутся ускоренно относительно друг друга. Каждый из них вправе считать, что он неподвижен, а *ускоренно* движется его напарник. Это и означает *условность* использования здесь принципа относительности.

В расчётах мы обязаны учитывать реальное положение вещей. Поэтому при рассмотрении парадокса мы обязаны исключить влияние гравитации Земли, для чего примем её гравитационную массу равной нулю, то есть, Земля в этом случае невесома. В противном случае, мы не получим замедления времени часов на звездолёте относительно земных: гравитация Земли замедлит собственные часы существенно сильнее, разрушив традиционные представления о парадоксе близнецов.. Из этого следует, что наблюдатель, близнец на Земле не будет ощущать ни ускорения, ни гравитационного притяжения, то есть, будет находиться в инерциальной системе отсчёта. Напротив, близнец на звездолёте будет испытывать силы тяготения согласно принципу эквивалентности, согласно которому движение с ускорением неотличимо от действия гравитации массивного тела.

Таким образом, близнец на Земле находится в эквивалентном гравитационном поле космического корабля и под его действием совершает "свободное падение" на корабль. Как мы приняли, к близнецу, находящемуся на Земле, не приложены никакие силы, а её гравитационное поле не учитывается. Согласно общей теории относительности и в соответствии с релятивистским явлением "гравитационного красного смещения" все часы, удалённые от центра корабля, являющегося генератором гравитации, идут в более быстром темпе, спешат. Отметим, что самым высоким значением гравитационного потенциала, а точнее, нулевым обладает область, полностью свободная от массивных,

гравитирующих тел. В ней часы идут с наибольшей скоростью (темпом).

Ранее мы решили задачу, используя метод *табличного* интегрирования, используя уравнение Лоренца с гравитационным слагаемым. В этом уравнении мы видим, в чем, собственно, и состоит сущность решения парадокса близнецов в общей теории относительности. С одной стороны, в процессе сближения братьев и увеличения их относительной скорости часы земного брата замедляются за счет слагаемого со знаком минус. Это соответствует специальной теории относительности и является причиной возникновения парадокса. Однако, с другой стороны, эквивалентный "гравитационный" потенциал корабля, звездолёта приводит к противоположному эффекту: он вызывает ускорение хода земных часов за счёт гравитационного слагаемого со знаком плюс. В сумме оба эффекта должны привести к тому, что показания часов земного брата в момент встречи будут больше показаний часов улетавшего брата, как того и требует корректное решение парадокса близнецов. Получается, вопреки специальной теории относительности, что с точки зрения путешественника движущиеся часы (часы земного брата) идут *быстрее*, чем неподвижные (часы на корабле).

Повторные вычисления первого варианта

Использованный нами метод табличного интегрирования при решении задачи является довольно громоздким, содержит объёмные таблицы. Для повторного решения этой же задачи с более точным значением гравитационного слагаемого в уравнении Лоренца мы воспользуемся более компактным способом интегрирования – численным интегрированием. Метод исследован в авторской книге "Численное интегрирование". Для корректного перехода к

новому способу вычислений мы повторно произведём решение задачи, используя те же начальные условия. В парадоксе близнецов наибольший интерес представляет картина, какую наблюдает улетавший брат, путешественник, иначе говоря, это главная задача вычислений. Действительно, с точки зрения земного, неподвижного брата ситуация предельно ясна. Она полностью и корректно описывается математикой специальной относительности и даёт исходные данные для последующих расчётов. Напомним исходные данные в задаче.

1. Начальная скорость корабля вблизи Земли $v_0 = 0{,}866c$ или 259 628 км/сек;
2. Интервал времени t_A, на котором исследуется парадокс, равен 240 месяцам или 2 годам. Это время путешествия по часам Земли;
3. Поскольку мы задали начальную скорость и время полёта, величина ускорения разворота предопределена, неизменна на всём протяжении полёта и равна примерно 0,09g.
4. Поскольку известны все параметры движения, то согласно уравнению Лоренца время в пути по часам звездолёта будет равно 205,1 месяца или 17,1 года.

Все эти величины тривиально вычисляются по законам Ньютона и специальной теории относительности. Таким образом, по истечении 240 месяцев, корабль, движущийся с отрицательным ускорением 0,007 (0,09g) и начальной скоростью 0,866, вернётся на Землю, имея скорость минус 0,866. Эти условия, как указано выше, позволяют нам исключить из рассмотрения не только начальный этап разгона и конечный этап торможения, но и моменты изменения ускорения при развороте, которое неизменно на всём протяжении полёта.

Для вычисления времени по часам землянина с точки зрения корабля воспользуемся тем же приближенным уравнением, использованным в нашей статье "Итак, парадокса (близнецов) больше нет!" Методы интегрирования в своей основе тождественны, поэтому и в этом случае численного интегрирования мы получили то же самое время на часах Земли с точки зрения наблюдателя на звездолёте: 230,7 месяцев или 19,2 года. Как и ранее, при интегрировании мы приняли во внимание, что величина тормозящего ускорения с точки зрения корабля иная: $g = \sqrt{3}/t_B$, поскольку относительная скорость – инвариант, а время в пути меньше: 205 месяцев или 17,1 года.

И здесь мы вновь наблюдаем ту же самую неожиданную и довольно неприятную ситуацию, что и в исходном, табличном решении задачи в упомянутой нашей статье. Согласно уравнениям общей относительности часы на Земле действительно идут более быстрым темпом и опережают часы на корабле. На анимации мы видим, что, действительно, квадрат g, являющийся "стрелкой" гравитационных часов движется быстрее, чем тень, "тень Земли", являющаяся "стрелкой" часов звездолёта.

Однако совпадения показаний одних и тех же часов с разных точек зрения нет. С точки зрения Земли, согласно заданным нами параметрам, часы на ней показали при встрече близнецов 240 месяцев (или 20 лет), это их собственное время, являющееся инвариантом. Вопреки этому, с точки зрения звездолёта, часы на Земле показали при встрече близнецов только 231 месяц (или 19,2 года): квадрат g остановился на анимации, не доходя до контрольной точки 240 месяцев. Расхождение почти 5%, что для *аналитических* выкладок чрезмерно. Точность вычислений, как при табличном, так и при численном интегрировании – до трёх знаков после запятой. Разбиение отрезков при графи-

ческом, табличном интегрировании – до 50 000, а при численном – до 2 000. Во всех случаях получался один и тот же результат – 231 месяц. Ни в одном случае не удалось получить 240 месяцев.

На рисунке рис.5.2 приведён график численного интегрирования уравнения Лоренца с гравитационным слагаемым из двух членов ряда Тейлора. Как видно на графике, в результате численного интегрирования получено время $t_A = 19{,}2$ – конечная точка линии. Дискретность интеграла – 2 000, точность результата, отрицательное отклонение от известного значения: – 3,8%. Сплошная прямая линия – график времени земного наблюдателя А по его собственным часам. График означает, что в момент встречи земной наблюдатель видит на своих часах время 20 лет, а наблюдатель – путешественник видит на этих же часах только 19 лет. Означает ли это, что общая теория относительности даёт ошибочный результат? Или, по крайней мере, парадокс близнецов в общей теории относительности не имеет *точного решения*?

Предварительный ответ можно заметить в двух последних словах предыдущего предложения, выделенных курсивом. Для решения парадокса мы использовали гравитационное уравнение Лоренца, найденное в литературе. Отличается оно от аналогичного уравнения специальной теории относительности дополнительным слагаемым под корнем. Это гравитационное слагаемое входит в выражение со знаком плюс, поэтому вычисленный коэффициент автоматически становится больше по величине, чем в традиционном уравнении Лоренца. Более того, если уравнение Лоренца, приведённое в нашей главе "Истоки...", всегда даёт значение, меньшее единицы, то есть, в движущейся ИСО время течёт медленнее, то "гравитационное уравнение Лоренца" в общем случае даёт значение, превыша-

ющее единицу. В наших вычислениях так оно и оказалось: время в движущейся системе отсчёта Земли превысило время в лабораторной, условно неподвижной системе отсчёта звездолёта, хотя и недостаточно, с отрицательной погрешностью порядка 4%.

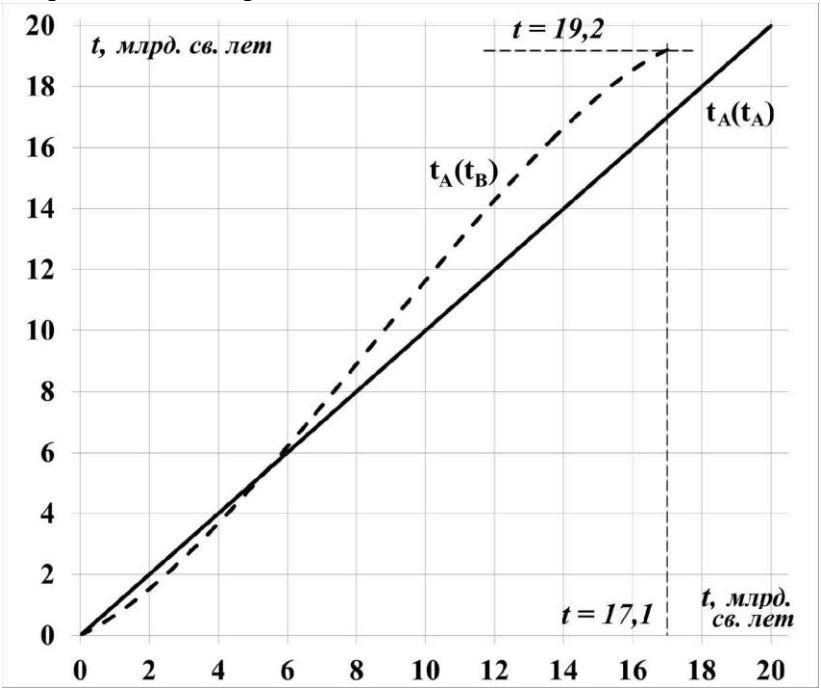

Рис.5.2. Численное интегрирование уравнения с двумя членами ряда Тейлора

Мы обратили внимание на слова "точное решение". Дело в том, что во взятом из литературы уравнении Лоренца гравитационное слагаемое – приближенное, точным оно не является. Следует предположить, что погрешность вызвана именно этой неточностью. К слову заметим: рассмотренная наша статья получила неожиданный отклик. Кто-то из, видимо, авторитетных участников интернет – форумов, высказал сожаление, что сам давно собирался

написать подобную статью, что вполне можно рассматривать как одобрение нашей работы. Статья в рассмотренном виде пролежала в открытом доступе более 5 лет и собрала немало читателей. Но вопрос о погрешностях всё-таки требовал своего решения.

Ещё раз вспомним приведённое выше высказывание и подкрепим его известным мнением: считается, что окончательное решение парадокс близнецов получил *только* в общей теории относительности, а специальная теория относительности, напротив, не позволяет его разрешить, парадокс не является задачей специальной относительности. Например, Розман в своей книге "Теория относительности" излагает это мнение следующим образом

"При изучении СТО указывается, что "парадокс близнецов" не может быть объяснен в рамках этой теории. … Этот парадокс не может быть разрешен в рамках СТО, так как рассматриваемые СО не равноправны (как это требуется в СТО): космический корабль не может рассматриваться ИСО, так как движется на отдельных участках траектории неравномерно. Только в рамках ОТО мы можем понять и объяснить "парадокс близнецов" естественным образом, опираясь на положения ОТО".

Чуть выше в этой же работе Розман приводит в качестве заключительного уравнение, с помощью которого выводится это решение. Приводимое описание уравнения является *качественным*, то есть, из него явно не следует, что результат будет точно, *количественно* описывать показания часов и согласованность взглядов на них обоих наблюдателей.

"... ясно видно, что темп хода часов замедляется в гравитационном поле с потенциалом φ (то же справедливо и для эквивалентной ускоренно движущейся СО, каковой в нашей задаче является космический корабль с "близнецом"

"В"). Таким образом, часы на Земле покажут больший промежуток времени, чем часы на космическом корабле при его возвращении на Землю".

К сожалению, в цитированной работе Розман не приводит развёрнутых выкладок, хотя даёт весьма показательное заключение:

"Повторим ещё раз, что "парадокс близнецов" не имеет никакого объяснения в специальной теории относительности, в которой используются только равноправные инерциальные СО. По СТО "близнец" "В" должен вечно равномерно и прямолинейно удаляться от наблюдателя "А" (по сути дела, он не должен взлетать с Земли, именно поэтому мы берем слово "близнец" в кавычки). В популярной литературе часто обходят "острый" момент в объяснении этого парадокса, заменяя физически длящийся разворот космического корабля "назад к Земле" его мгновенным разворотом, что невозможно. Этим "обманным маневром" в рассуждениях устраняют ускоренное движение корабля на развороте и тогда обе СО ("Земля" и "Корабль") оказываются равноправными и инерциальными, в которых можно применять положения СТО. Но такой прием нельзя считать научным".

Заметим, что в данном высказывании автор демонстрирует, мягко говоря, несогласие с мнением автора теории, Эйнштейна. В некоторой среде подобное несогласие имеет вид фразы "Эйнштейн, ты не прав!". Как говорится, полку альтернативщиков, противников СТО прибыло. Однако назвать утверждения в цитате убедительными мы не можем, они ошибочны. Более того, весьма трудно удержаться от легкой иронии примерно следующего вида: после формулировки парадокса прошло более ста лет, за это время близнецы уже умерли, какой ещё парадокс? Замечание о невозможности старта близнеца – путешественника

следует назвать пародийным, поскольку оно давно уже устранено вариантом парадокса с тремя близнецами или с фиксацией показаний часов. Продолжим иронию. Откуда-то издалека движется звездолёт. В момент, когда он поравнялся с Землёй, родились три близнеца: один на Земле, второй – на звездолёте, а третий – на отдалённой звезде, цели путешествия. Это даже не ирония, а практически сарказм, который, как говорится, льёт через край. Желание "оттолкнуть" СТО от решения парадокса застилает глаза, туманит сознание *фактически* противникам СТО, но считающим себя её квалифицированными *защитниками*. Близнецов давно заменили часами, не нуждающимися в акте рождения. Двое часов – на Земле и на звезде – находятся в одной ИСО, то есть, их показания всегда одинаковы по определению. В момент прохождения звездолёта мимо Земли показания его часов либо синхронизируются с земными, либо просто фиксируются. Эти часы не обязаны возвращаться обратно, хотя это осуществимо столь же тривиально, как и первичное прохождение мимо Земли. Достигнув звезды, звездолёт, как и указал в цитате Розман, может продолжить движение сколь угодно долго и как угодно далеко. Нас не интересует дальнейшая судьба звездолёта и его часов, поскольку в момент прохождения часов мимо звезды мы можем прочитать их показания. И это будет абсолютно точное, однозначное, строго научное их определение, определение показаний без каких бы то ни было "обманных манёвров". В нашей работе, в первых главах мы рассмотрели некоторые возможные, чётко обоснованные "обманные маневры", которые являются *строго научными*. Кроме того и мгновенный разворот для *математической* теоремы не является проблемой. Он является серьёзной претензией к противникам самосогласованности

теории, СТО, её безусловной способности решить этот *якобы* парадокс.

Все эти эмоциональные критические замечания мы привели для того, чтобы пояснить причину, по которой мы вновь обратились к решению задачи пятилетней давности. Практически во всех описаниях парадокса близнецов на различных форумах в интернете, в литературе *содержание* самого парадокса, его сути подменяется констатацией невозможности его решения в СТО. Констатацией ошибочной, констатацией, превратившейся с банальный литературный, журналистский штамп. Более того, дальнейшие исследования странным образом показали, что и вторая часть этой констатации, относящаяся к ОТО, столь же сомнительна, а, по сути, ошибочна. В общей теории относительности решение парадокса близнецов выглядит весьма и весьма противоречиво. Постоянно натыкаясь на эти *штампованные* аргументы, мы фактически были *вынуждены* вновь обратиться к нашему незавершённому ОТО-решению парадокса близнецов.

Три члена разложения Тейлора

Понятно, что это новое решение будет так же предельно компромиссным. Как мы предположили ранее, погрешность нашего решения в статье "Итак, парадокса (близнецов) больше нет" связана с использованием приближённого гравитационного уравнения Лоренца, приближённого значения гравитационного слагаемого в нём. Поэтому попробуем использовать большее число членов разложения потенциала в ряд Тейлора. Подчеркнём: это решение не имеет особого логического смысла, поскольку это точно такое же приближённое вычисление. Другими словами попробуем воспользоваться классическим методом подгонки или, как говорят студенты, "методом науч-

ного тыка". Как можно заметить, из приведенного выше решения следует, что *более* точное значение, вероятно, может быть получено, если использовать некоторое промежуточное значение потенциала – меньшее, чем предельно точное, и большее, чем исходное, самое грубое округление. Для определения этого *более точного* уравнения следует, использовать *точное* выражение для гравитационного потенциала, предложенное Эйнштейном. К слову заметим, что обзор литературы выявил: точное уравнение Эйнштейна для гравитационного потенциала вскользь упомянуто лишь в "Эйнштейновском сборнике" за 1967 год. Как отмечено в работе Морозова

"Это простое соотношение с ясным физическим смыслом не только забыто, но и не вписывается в современную трактовку общей теории относительности. Как знать, возможно, развитие теории пошло бы другим путем, если бы этот результат не остался без внимания".

Здесь мы не приводим это уравнение Эйнштейна, а лишь заметим, что использованное ранее приближённое значение получено именно из этого выражения разложением его в ряд Тейлора и отбрасыванием членов высшего порядка. А именно: в нашей исходной статье мы использовали предложенные другими авторами *первые два* члена разложения, что, видимо, и привело к недопустимо высокой погрешности в вычислениях.

Итак, вновь используем разложение в ряд Тейлора точного уравнения гравитационного потенциала Эйнштейна, оставив теперь уже три первых члена ряда. Полученное в итоге выражение интеграла для нашей задачи является более точным, чем приближенное уравнение, использованное в первый раз. Определение времени путешествия по часам земного близнеца с точки зрения близнеца на звездолёте производим интегрированием полученного но-

вого гравитационного уравнения Лоренца. Как и ранее, пределы интегрирования – это время по часам звездолёта. Произведя численное интегрирование, получаем картину, приведённую на рис.5.3.

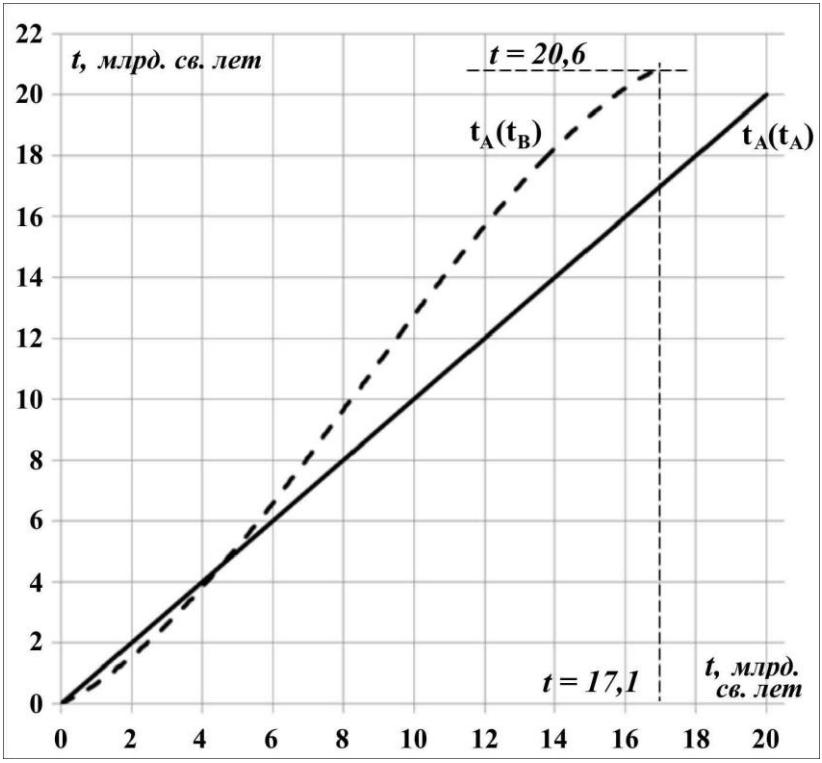

Рис.5.3 Численное интегрирование уравнения с тремя членами ряда Тейлора

Как видно на графике, в результате численного интегрирования получено другое время $t_A = 20,6$ – это конечная точка линии. Дискретность численного интегрирования – 2 000, достигнутая точность результата, то есть, отклонение от известного значения: +2,8%. И сразу же вынуждены объявить: этот результат нас не устраивает так же, как и предыдущий. Действительно, самое грубое при-

ближение выражения для потенциала, первые два члена ряда Тейлора, даёт *заниженное* значение времени, а теперь уже три первых члена – *завышенное*. Иначе говоря, если с *грубым приближённым* значением потенциала мы получили отрицательную погрешность, то с *более* точным значением погрешность изменилась не только незначительно, но и изменила знак. Это два *смежных* значения приближения, между которыми нет никаких других. То есть, никаким разложением в ряд мы не сможем получить значение интеграла $t_A = 20,0$ с удовлетворительной точностью.

Это весьма странно, поскольку мы использовали более точное выражение для гравитационного потенциала по Эйнштейну и, естественно, ожидали получить *более* точное решение парадокса, то есть, черный график должен был завершиться на горизонтали 20 лет или максимально близко к ней *снизу*. Получилось, что при любом раскладе предсказание ОТО для парадокса близнецов несопоставимо хуже, чем предсказание специальной теории относительности, являющееся максимально, предельно точным.

Строго говоря, на этом этапе мы имеем все основания завершить исследования и объявить, что общая теория относительности, теория гравитации не способна *приемлемо* решить парадокс близнецов. По крайней мере, приемлемо точного значения *согласованного* времени в пути нам получить не удалось.

Все рассмотренные ранее в нашей книге "Парадокс близнецов..." решения парадокса в рамках общей теории относительности мы признали надуманными и весьма спорными. Ссылки на погрешности в вычислениях здесь возможны, но очень уж они сомнительны. Кроме того, мы использовали модель, безусловно продвигаемую теорией, и которую никто ранее не использовал. Нигде в литературе подобные вычисления нам не встретились, что, следует

заметить, весьма странно. Использованное нами исходное приближённое уравнение в литературе имеется. Но использовано оно на бездоказательном, словесном уровне. Разумеется, мы не будем объявлять себя обладателем истины в последней инстанции, допуская, что с этими уравнениями, которые мы использовали, что-то "не чисто". Поэтому ещё раз просто повторим: общая теория относительности, теория гравитации не способна предложить *точного* решения парадокса близнецов. Остаётся лишь ждать, что кто-нибудь когда-нибудь сможет предложить развёрнутое, детальное, *точное* решение парадокса без всяких "очевидно" или "как известно" и непременно опровергающее решения, предложенные нами.

Выводы

Утверждение о том, что в общей теории относительности парадокс близнецов получил полное и окончательное решение, является *недостаточно* обоснованным. В рассмотренной предельно идеализированной версии парадокса – путешественник всё время движется с неизменным ускорением – точность нескольких численных вариантов решений не превышает единиц процента, что для аналитических вычислений является неприемлемым, особенно для теории, ОТО, славящейся своими беспрецедентно точными вычислениями.

Использование приближённого уравнения параметра g_{00} и гравитационного потенциала позволяет получить достаточно низкую погрешность вычислений. Однако сам факт использования *неточных* исходных данных дискредитирует практически любую точность конечных вычислений, фактически означая подгонку под требуемый результат. Получить для близнеца-путешественника точно то же значение земного времени, что и для близнеца, оста-

вавшегося на Земле, по известным исходным величинам оказалось невозможным. При всех вычислениях по земным часам прошло иное время, чем вычисленное с точки зрения улетавшего близнеца.

В литературе не удалось найти информации о реальном, физически *обоснованном* значении гравитационного потенциала при ускоренном движении близнеца-путешественника, которое позволило бы получить *совпадение* времени по земным часам с точки зрения обоих близнецов. Подбор осмысленных его значений не позволил получить инвариант этого времени с приемлемой точностью. Традиционное значение g_{00}, описываемое в литературе, приводит к *разным* значениям времени по земным часам с точки зрения каждого из близнецов. Предложенное Эйнштейном "точное" значение g_{00} в экспоненциальной форме приводит к *завышенному* значению этого времени.

Однако и приближённое значение величины до второго функционального (после единицы) члена ряда Тейлора даёт *завышенное* значение времени на Земле, вычисленного с точки зрения близнеца-путешественника. Это значит, что даже самое грубое, наименее завышенное приближение этого параметра уже исключает возможность получить точное значение времени. Наилучшее отклонение инварианта земного времени ~ 0,46% было получено только путём специфического приближения (снижения точности, *подгонки*) параметра g_{00}, что, конечно же, не даёт оснований считать результат приемлемым. Несомненно, существует возможность *искусственно* подобрать такое значение, уравнение гравитационного потенциала и такие правила вычислений, при которых инвариант земного времени будет достигнут с любой точностью. Однако физически обосновать такое *подобранное* значение гравитационного потенциала невозможно, это простая подгонка. Такой

грубой подгонкой уравнения гравитационного потенциала нам удалось достичь точности результата менее 0,5%.

6. Парадокс Эренфеста

Парадокс Эренфеста можно назвать компиляцией трёх мифов: применение СТО к нелинейному движению, существование абсолютно твёрдого тела и невозможность раскрутить цилиндр, привести его во вращение из состояния покоя. Как мы обнаружили в предыдущих главах, традиционное предсказание о времени путешественника в парадоксе близнецов оказалось ошибочным, вернее, таких условно непротиворечивых предсказаний три, но верным, полностью корректным является лишь третье, в котором близнецы при встрече будут ровесниками. Напомним, что парадоксы СТО чаще всего формулируются в виде мысленных экспериментов, то есть, воображаемого эксперимента на основе положений теории. Одним из таких парадоксов, помимо парадокса близнецов, по праву считается ещё один из старейших парадоксов – парадокс Эренфеста, в настоящее время часто формулирующийся как "парадокс колеса", и который по утверждениям многих авторов до настоящего времени не имеет удовлетворительного объяснения, решения.

Описание парадокса

Изначально, впервые этот парадокс был сформулирован в краткой заметке Эренфеста, которая заканчивалась утверждением, что согласно специальной теории относительности приведённый во вращение цилиндр обязан иметь *одновременно* два различающихся радиуса. Получается, что специальная теория относительности делает два взаимоисключающих, парадоксальных предсказания:

внешняя часть вращающегося цилиндра имеет меньший диаметр, чем внутренняя. В дальнейшем содержание парадокса было несколько расширено: вместо цилиндра стали рассматривать колесо или даже движущийся по кругу поезд. Все эти формулировки парадокса разными авторами по своей сути достаточно близки друг к другу, например, у Ландау и Лившица, на Википедии, у Соколовского и в фильме "Физика света".

Вместе с тем исторически сложилось так, что чаще всего парадокс рассматривался в отношении колеса со спицами. Видимо, это более наглядно демонстрировало возникающий парадокс – обод колеса сокращался, то есть, уменьшалась длина его окружности, что означало уменьшение его диаметра, а спицы всегда ортогональны к нему, поэтому сокращаться не должны, тем самым препятствуя уменьшению диаметра колеса.

За годы существования парадокса были предложены разные варианты его решения, но до настоящего времени эти решения не имеют всеобщего признания. Например, по мнению некоторых авторов, если спицы достаточно гибки, то они изогнутся и колесо приобретёт полусферическую форму, напоминающую плетёную корзинку или "чашу", как показано на рисунке в книге Соколовского "Теория относительности в элементарном изложении". Как вариант, при сохранении плоскостности колеса спицы будут либо радиально сжаты ободом, укорочены, либо изогнутся как галактические рукава или наподобие свастики, как показано в статье "Реквием по теории?" научно-популярного дайджеста "Спутник ЮТ".

В процессе нашего собственного исследования парадокса мы обнаружили весьма интересный результат. Мы рассмотрели парадокс колеса без спиц, сплошной, абсолютно твердый диск, то есть, одновременно рассмотрели и

вывод из парадокса Эренфеста о невозможности раскрутки такого диска, являющегося в этом варианте просто тонким цилиндром. Для удобства и без нарушения общности диск мы представили как туго насаженные друг на друга концентрические окружности – ободы достаточно малой толщины и жестко скрепленные друг с другом. Далее мы рассмотрели в этом колесе два предельно тонких обода: внешний и следующий за ним, внутренний меньшего диаметра. Поскольку ободы вращаются, то их длины уменьшаются. С этим согласны все. Это сокращение длины окружности каждого обода определяем по уравнениям Лоренца. Поскольку при "раскручивании" диска эти два обода уменьшили свою длину, то, следовательно, уменьшились и их *евклидовы* диаметры. Это очевидно, поскольку отношение длины окружности к диаметру фиксировано и равно π. И здесь мы обнаруживаем причину возникшего этого *якобы* парадокса. Традиционно объявляется, что при сокращении обода его *исходный* радиус, эквивалент спиц остаётся неизменным. То есть, длина окружности уменьшилась, а радиус остался прежним. Подчеркнём: при рассмотрении задачи неявно обод колеса отделяется от своих спиц, поскольку их сокращение рассматривают независимо. Тогда возникает вопрос: о каком именно радиусе обруча, обода колеса идёт речь? Никакого *физического, вещественного* радиуса или спиц у *обруча* нет и быть не может, есть только математический, евклидов радиус окружности. Может ли физически *несуществующие* спицы препятствовать уменьшению длины окружности? Сделать это, *предположительно*, способен только *реальный*, материальный радиус, спицы, но мы их отбросили, отделили от колеса. А ведь именно так обычно изображается колесо в парадоксе Эренфеста, в котором спицы, неспособные, как утверждается, к сокращению, изгибаются, придавая колесу вид кор-

зинки. Утверждается, что изгибаться их заставляет обод, уменьшивший свой текущий диаметр вследствие лоренцева сокращения и сжимающий тем самым спицы к центру. Но в нашем примере, повторим, мы спицы удалили. Поэтому можем ли мы наблюдать то, что не существует?

Расстояние между двумя диаметрально расположенными точками *евклидовой* окружности всегда в π раз меньше её длины, но в формулировке парадокса прямо заявлено, что это соотношение нарушается вследствие перехода вращающегося диска в неевклидово пространство. Это основа парадокса, его первопричина. Но мы ещё раз, более определённо заявим: из чего бы ни был изготовлен обруч – из резины, пластилина или из волн на поверхности воды, расстояние между любыми двумя его противоположными точками – это его диаметр, который всегда меньше в π раз, чем длина окружности. Этот круг, обруч является классической евклидовой окружностью.

Первичное решение парадокса

Однако, повторим, речь в парадоксе чаще всего идёт либо о сплошном круге, либо о колесе со спицами, следовательно, физические радиусы в этом случае присутствуют в том или ином виде. И этот физический радиус, длина спиц или радиальная длина сплошного диска точно так же *укорачиваются* в соответствии с классическим уравнением Лоренца для сокращения длин. Совпадение весьма показательно, но именно этот *индуцированный* поперечный эффект Лоренца пытаются опровергнуть все известные авторы, постулируя его как парадокс. То, что радиусы колеса испытывают такое же *эквивалентное* лоренцево сокращение, как и обод колеса в строгом соответствии с математикой специальной теории относительности мы обнаружили в результате вычислений. Это сокращение

радиусов является прямым *следствием* сокращения длины окружности, эффектом, который можно было бы назвать эффектом удавки. Однако уточним: эффект удавки при сокращении радиусов – это всё-таки условность, метафора. Вопреки распространённому мнению, на самом деле на радиусы, на спицы не действуют никакие сдавливающие силы. Присмотримся к поведению двух выбранных нами смежных ободов. Предполагаем, что при их сокращении верхний начинает сдавливать все нижние слои, демонстрируя ту самую метафору с удавкой. Но есть ли такое сдавливание? При какой скорости оно наступает? Какой должна быть скорость вращения, чтобы *различные* по длине в неподвижном состоянии радиусы двух смежных окружностей, ободов после раскрутки поначалу хотя бы просто *сравнялись*? Очевидно, отношение радиусов этих двух смежных ободов зависит от их тангенциальных скоростей, которые тоже различаются по величине. Следовательно, это будет такая скорость вращения, предельная скорость, после которой слои начнут "наползать" друг на друга, либо препятствуя увеличению этой скорости, либо деформируя друг друга. То есть, мы предполагаем, что внешний обод сокращается быстрее внутреннего, иначе диск увеличивал бы свои размеры, что из логических соображений невозможно.

Подробные вычисления проведены в нашей статье "Решение парадокса Эренфеста", которая опубликована в журнале "Точная наука", ИД Плутон, и в нашей книге "Мнимые и реальные парадоксы СТО". Полученное решение показало, что, во-первых, наше допущение о *возможности* раскрутить диск оказалось правомерным: радиусы, спицы колеса сокращаются в той же мере, что и невидимые радиусы обручей, не приводя к их деформации и не препятствуя их раскрутке. Заметим, что наши вычисления,

по сути, являются достаточно простыми, даже тривиальными. Мы просто вычислили длину окружности и соответствующий ей радиус каждого из смежных обручей. Затем нашли их отношение для некоторой произвольной угловой скорости. Момент пересечения обручей мы определили как равенство их радиусов или длин окружностей, то есть, просто приравняли это отношение к единице. Оказалось, что это равенство превращается в уравнение зависимости скорости от отношения радиусов обручей. Решение уравнения даёт конкретную величину скорости вращения, равную $\sqrt{2}/2 \approx 0{,}7$ от скорости света. Запишем это утверждение отдельно и, так сказать, в более декоративной форме:

При раскручивании цилиндра или сплошного колеса из абсолютно твёрдого материала до скорости его поверхности, внешнего обода, равной примерно 0,7 от скорости света, радиус этого внешнего бесконечно тонкого слоя цилиндра или обода колеса сравняется с радиусом следующего, вложенного в него такого же бесконечно тонкого слоя, обода.

Но здесь пока не вполне отчётливо видно, что всё это прямо относится к уменьшению радиуса цилиндра или колеса, вернее, к провозглашённому отсутствию такого уменьшения. Поясним более явно это соответствие. При раскручивании каждый обод уменьшает как длину своей окружности, так и соответствующий ей евклидов радиус, который, как мы отмечали, не является физическим, материальным. Это *условный* евклидов радиус окружности, радиус, который присущ любой окружности с точки зрения неподвижного наблюдателя. Подчеркнём: вращается окружность или неподвижна, внешний наблюдатель всегда

видит её как строго неподвижную окружность и *всегда может измерить* её радиус.

Мы рассматриваем окружность в евклидовом смысле, то есть, как линию, нарисованную с помощью циркуля. Раствор циркуля – это радиус этой окружности. Очевидно, что убрав циркуль, мы радиус окружности никуда не убираем – это неотъемлемая принадлежность окружности. При этом геометрически мы видим эту окружность, а физически можем допустить, что она вращается. Если мы нарисуем две окружности, плотно смыкающиеся друг с другом, то обе они при вращении испытают лоренцево сокращение. Но при этом они как были окружностями, так ими и остались. Их радиусы, *безусловно,* изменились, сократились. Подчеркнём: сократились оба радиуса – и внешней и внутренней окружности.

Согласно полученному решению, внутренняя окружность, внутренний обод не препятствует сокращению обода, который находится снаружи, охватывает его. Точно так же его собственному сжатию, уменьшению длины окружности и её радиуса не препятствует и следующий обод, находящийся внутри него. Поскольку рассмотренные ободы и все остальные вместе образуют сплошной диск колеса, то это колесо и в целом не испытывает никаких внутренних деформаций, препятствующих его сжатию. Говоря другими словами, сокращаясь по длине, вернее, по толщине, такой "слоёный" обод будет одновременно уменьшать свой *обобщённый* радиус кривизны. Это эквивалентно тому, что радиус колеса будет уменьшаться *беспрепятственно*.

Во-вторых, мы обнаружили, что давить друг на друга два соседних бесконечно тонких слоя – обода всё-таки начнут, но только при скорости более 0,7 от скорости света. Для визуализации процесса сокращения мы разбили

колесо на десять ободов и изобразили в виде диаграммы их эквивалентные евклидовы радиусы как зависимости от скорости вращения колеса. Диаграмма условная, поскольку не учитывает момент, когда слои начинают давить друг на друга. При увеличении тангенциальной скорости внешнего края диска, его слои уменьшают собственные радиусы в разной степени. Сильнее всего уменьшается радиус внешнего края – вплоть до нуля. Напротив, обод, радиус которого равен десятой части от радиуса внешнего края диска, практически не изменяет своего радиуса. Это значит, что при сильной раскрутке внешний обод сократится до радиуса меньшего, чем внутренний, но как это будет выглядеть в реальности, пока неясно.

Для ещё большей наглядности процесса деформации мы изменили форму колеса так, чтобы слои вообще никогда не мешали друг другу. Сдвинув слои колеса, частные ободы вдоль оси, мы превратили колесо в тонкостенный конус, воронку. Теперь при сжатии каждого слоя под ним нет других слоёв, и ничто не мешает ему сжиматься сколько угодно. Это позволяет увидеть каждый обод независимо от других и то, как внешний обод уменьшает свой радиус сильнее, чем внутренние. На анимации мы раскрутили конус из состояния покоя до тангенциальной скорости внешнего обруча, равной скорости света, после чего уменьшили скорость в обратной последовательности

Согласно теории относительности *деформации* диска или анимированного конуса как таковой быть не должно. Все изменения в его форме – это *видимость* для внешнего наблюдателя, с самим диском и конусом при этом ничего не происходит. Следовательно, он вполне может быть из абсолютно твердого материала. Поэтому *видимость*, относительность деформации и допускает раскручивание этого диска до световой скорости. Внешний наблюдатель

будет видеть вполне логичную, хотя и довольно странную картину. До скорости 0,7с внешнего обода конуса все ободы сокращаются синхронно, не "налезая" своими окружностями друг на друга.

После достижения этой скорости радиус внутреннего обода из рассмотренной выше пары, становится больше радиуса внешнего. Близкие к внешнему ободы приближаются к центру диска, превращая конус в своеобразный замкнутый сосуд, амфору. Если уменьшить скорость его вращения, то все слои вернутся на свои места, и амфора для неподвижного наблюдателя вновь превратится в конус. Это *кажущееся* перемещение слоёв, ободов вследствие сжатия к центру диска происходит только с точки зрения внешнего наблюдателя, оно никак не связано с реальной деформацией самого диска.

Но это относится к конусу и к анимации. А как поведёт себя *плоское* колесо, в котором все слои – обручи находятся строго друг над другом? Столь же странную картину неподвижный наблюдатель увидит и в этом случае. После того как внешний обод диска на скорости 0,7с уменьшится до критического, предельного размера, он сделает попытку дальнейшего сжатия. При этом внутренний обод, который изначально имел *меньший* радиус, будет сопротивляться этому. Здесь мы напомним очевидное условие – диск всё время должен оставаться плоским.

При всей странности картины можно достаточно легко догадаться, что произойдёт дальше. Нижние слои, от нуля до 0,7 от радиуса колеса, сами испытали сжатие и несколько уменьшили свои размеры. Не смотря на это внешние слои их всё равно "догнали". Теперь лоренцева сжатия внутренних слоёв недостаточно, они не дают внешним продолжить своё сжатие. Как варианты можно выделить три сценария дальнейшего развития событий, не принимая

во внимание действие центробежных сил и тот факт, что для такой раскрутки потребуется бесконечно мощный двигатель. Кратко опишем эти варианты.

Варианты вращения

Диск из обычного, хрупкого материала. В нём внутренние слои испытывают деформацию сжатия, а внешние – растяжения. Следовательно, более вероятен разрыв внешних ободов, чем упругое уменьшение объёма внутренних слоёв.

Диск из абсолютно эластичного материала. Понятно, что разрыв слоёв невозможен, но возможно их бесконечное сжатие, в результате которого для внешнего наблюдателя колесо может превратиться в бесконечно малую точку, либо при сохранении исходного объёма в своеобразный бублик.

Диск из абсолютно твёрдого материала. Внешние ободы не могут разорваться, а внутренние – сжаться. Сила их давления друг на друга будет стремительно возрастать после того, как будет достигнута предельная скорость вращения ~ 0,7 от скорости света. Дальнейшего увеличения этой скорости больше не будет, каким бы мощным ни был приводной двигатель.

Следует добавить, что все эти выкладки мы сделали, строго следуя положениям специальной теории относительности. При этом мы не рассматривали так называемую "обратную реакцию". Дело в том, что раскрутить обод до световой скорости невозможно в принципе, поскольку при любой угловой скорости обод будет сокращаться. Если мы зададим такую угловую скорость, при которой исходный обод должен иметь световую тангенциальную скорость, то сократится и обод и его радиус. Следовательно, новая тангенциальная скорость при заданной угловой и

укоротившемся радиусе, будет уже меньше скорости света, а точнее, всё той же величиной порядка 0,7 от скорости света.

Анализ рецензии на статью

После нахождения рассмотренного непротиворечивого решения мнимого парадокса Эренфеста, в один из журналов была направлена статья, озаглавленная "Парадокс Эренфеста не является парадоксом специальной теории относительности". В публикации статьи было отказано на основании отзыва тайного рецензента. Журналы, как правило, не вступают в переписку с авторами, поэтому рассмотрим представленную рецензию здесь, цитируя по ходу направленную для публикации статью.

Данную рецензию мы будем рассматривать на правах обсуждения нашей статьи. Польза критической рецензии несомненна, поскольку высвечивает сложные моменты, очевидно, непонятые читателями. Уточним, что присланный редакцией ответ назван в заголовке *отзывом* на статью, а как *рецензия* квалифицирован рецензентом лишь в последнем абзаце. Также отметим, что в редакцию отправлен наш ответ на рецензию, который здесь мы несколько изменим и дополним, сохранив его смысл по существу. Цель – изложить наши исходные доводы более детально, подробно. Сразу же, в первых строках отзыва обнаруживаем, мягко говоря, странность. Рецензент заявил:

"Единственное с чем можно согласиться в рецензируемой статье – это утверждение, сформулированное в ее заглавии".

Направленная для печати статья, напомним, нами была озаглавлена "Парадокс Эренфеста не является парадоксом специальной теории относительности". Из дальнейшего текста рецензии видно, что акцент рецензентом

сделан на слова "специальной теории относительности". Наш акцент был на слове "парадокс". То есть, буквально "Парадокс Эренфеста не является парадоксом". И добавлено: конкретно в специальной теории относительности. Можно признать, что этот акцент следовало бы выделить более явно. Но против переноса акцента рецензентом также нет серьёзных возражений. То есть, столь же верно и то, что такого парадокса нет именно в специальной теории относительности, что подразумевает, будто бы он есть где-то в другом месте, о котором нам ничего не известно. Но далее рецензент делает спорное и даже определённо неверное утверждение:

"И справедливость этого утверждения известна уже на протяжении последних 100 лет".

Последующая аргументация рецензентом этого тезиса содержит утверждение, что специальная теория относительности оперирует с инерциальными системами отсчёта, а с ускоренными системами отсчёта – нет. В общем случае это неверно. По ходу аргументации он приводит, мягко говоря, странный довод:

"... или разные элементы объема движутся с разными скоростями, то описание явления в целом в рамках инерциальной системы координат невозможно".

Мы можем рассматривать сколь угодно много инерциальных систем, которые, следовательно, все без исключения движутся с разными скоростями. Это, вообще-то, является рядовой задачей специальной теории относительности. Можно предположить, что в своём утверждении рецензент неявно объединил в одну систему отсчёта множество *инерциальных* систем, поскольку под "разными скоростями" явно не обозначены *ускоренно* движущиеся объекты. Но такое объединение само по себе бессмыслица. С другой стороны, нет никаких проблем с описанием *уско-*

ренного движения из *инерциальной* системы отсчёта. Это ни в коей мере не противоречит специальной теории относительности. В частности, Эйнштейн при формулировке своего парадокса близнецов сделал именно это, поскольку движение по ломаной линии – это движение с ускорением. Наконец, в рассматриваемом здесь парадоксе Эренфеста в инерциальной системе находится наблюдатель, а ускоренно движущимся объектом является вращающийся цилиндр или колесо со спицами.

"Такие системы описываются общей теорией относительности и геометрия таких систем, вообще говоря, становится неэвклидовой. Вращающийся диск или колесо является примером такой системы".

Это верно *лишь* в общих чертах, поскольку касается главным образом наблюдателей, находящихся в этих ускоренно движущихся системах. А вот следующий фрагмент рецензии является уже подменой понятий и свидетельствует о непонимании рецензентом смысла рассматриваемой задачи:

"Системой покоя в этом случае является равномерно вращающаяся система координат – существенно неинерциальная в отличие от инерциальных, равномерно и прямолинейно движущихся".

Во-первых, в каком "этом случае"? Из предыдущей цитаты нельзя делать такого вывода, там просто описывается *сущность* неинерциальной системы отсчёта. Будет ли она "в каком-то случае" неподвижной, хотя правильнее сказать "условно неподвижной или лабораторной", зависит от выбора наблюдателя. Во-вторых, к рассматриваемой задаче о парадоксе Эренфеста это утверждение вообще не имеет никакого отношения, поскольку наблюдатель изначально и однозначно находится вне цилиндра, во *внешней*

инерциальной системе отсчёта – ИСО. Следующее утверждение рецензента весьма показательно:

"Хорошо известно [1]), что геометрия в равномерно вращающейся системе координат действительно отлична от эвклидовой. В частности, в этой системе координат отношение длины окружности к ее диаметру не равно π и вообще не универсально (зависит от радиуса)"

Заметим, что в "хорошо известной" цитате из учебника Ландау – Лившица сказано "отношение длины окружности к ее диаметру, полученное в результате такого измерения, окажется *больше* π". Мы выделили, акцентировали слово "больше". Что интересно и важно, это заключение в учебнике *ошибочно*, что следует из простых математических соображений. Действительно, если у дроби – здесь это отношение окружности к радиусу, равное π в обычных условиях, – уменьшить числитель, то величина дроби уменьшится, станет *меньше* π. Нам неизвестно, заметил рецензент эту ошибку в цитируемом тексте, но не решился явно указать на неё, или просто не был уверен, что же именно произойдёт, указав неопределённое "не равно π". Такая неопределенность, не то увеличение, не то уменьшение отношения, выглядит несколько странно. Однако эта ошибка великих учёных является мелочью по сравнению с более серьёзной их *ошибкой*. Строгими вычислениями мы показали, что на самом деле радиусы испытают такое же пропорциональное, эквивалентное лоренцево сокращение, что и окружность, поэтому отношение останется тем же, строго равным π. Тем не менее, рецензент сразу же делает вывод, содержащий неопределённости ещё более странные, чем его трактовка приведённой цитаты

"Это изменение масштабов во вращающейся "системе покоя" диска, для внешнего, неподвижного относи-

тельно оси вращения, наблюдателя компенсируется Лоренцевым, сокращением, что и устраняет "парадокс Эренфеста".

Здесь, по крайней мере, рецензент явно указал, что *лабораторной*, условно неподвижной системой отсчёта является всё-таки система внешнего по отношению к цилиндру наблюдателя. Но вот в чём именно состоит *компенсация* "изменения масштабов" "лоренцевым сокращением", рецензент не поясняет, сразу же переключаясь на рецензируемую статью

"Автор рецензируемой статьи предлагает иной путь разрешения "парадокса Эренфеста".

Следует уточнить, что путь, названный "иным" таковым не является, поскольку никакого другого *решения* парадокса нет, поэтому *любое* его решение не может быть *иным*. Нет никаких решений парадокса, которым можно было бы что-то *противопоставить*. Например, допустим, что через некую реку нет моста, его ещё не построили. Можно ли назвать впервые наводимый через эту реку мост "иным, другим мостом"?

"Он утверждает, что в статье доказано Лоренцево сокращение радиусов окружностей, имеющих центры на оси равномерно вращающегося диска. А утверждения Эренфеста и многих последующих авторов о неизменности этих радиусов считает ошибочными".

Да, именно это явилось содержанием нашей работы, но не её целью. Можно даже сказать, озвученный в статье итог получен случайно.

"Доказательство состоит в том, что автор полагает отношение длины окружности к ее диаметру абсолютно универсальным и всегда равным π. Тогда, если длины окружностей претерпевают Лоренцево сокращение, то и

соответствующие радиусы пропорционально уменьшаются".

В общем, верно, именно в этом и состоят доказательства в рецензируемой работе. Правда, следует уточнить смысл "абсолютной универсальности". Речь в статье идёт *только и только* об окружности в парадоксе Эренфеста, о вращающейся окружности, которую наблюдают из внешней, неподвижной ИСО. Какие-либо иные варианты деформации окружности в статье не рассматривались.

"Однако, как отмечено выше, такое рассуждение обосновано только до тех пор, пока геометрия остается эвклидовой. А это не так в случае неинерциальных систем, в том числе и равномерно вращающихся".

Можно назвать эту цитату своеобразным подведением итогов "доказательства" рецензентом ошибочности аргументов в рецензируемой работе. Напомним, приведём повторно это анти-доказательство:

"Это изменение масштабов во вращающейся "системе покоя" диска, для внешнего, неподвижного относительно оси вращения, наблюдателя компенсируется Лоренцевым, сокращением, что и устраняет "парадокс Эренфеста".

Утверждение даже не спорное, а фактически является бессмысленным набором слов. Во-первых, что означает "устраняет парадокс"? Более ста лет все только тем и заняты, что ищут *решение* парадокса. Кстати, можно сказать, что *устранить* парадокс из *научной литературы* и на самом деле удалось – Эйнштейну. Как пишет Кулигин, Эйнштейн помог Эренфесту получить хорошую должность, после чего парадокс практически исчез из научной литературы, из неё было устранено его *упоминание*. Но назвать *решением* парадокса это его *устранение* усилиями Эйнштейна или фразой рецензента нет никаких оснований.

А что, собственно, следует тогда понимать под *решением* парадокса Эренфеста? Вспомним утверждения автора парадокса, Эренфеста. Он заявил, что, согласно специальной теории относительности, длина окружности цилиндра уменьшится. Здесь ничего не говорится об изменении масштабов во вращающейся системе отсчёта. Явно и недвусмысленно сказано, что это уменьшение наблюдается из внешней, неподвижной системы отсчёта. Мы подчеркнули: *наблюдается*. И Эренфест, и мы, и все известные нам релятивисты рассматриваем это сокращение как обычный, *рядовой* эффект специальной теории относительности. На этом этапе нам нет никакого дела, что видит наблюдатель, находящийся внутри вращающейся системы с неевклидовой геометрией. Следовательно, как видим, пока нет никакого устранения чего-либо чем-либо или кем-либо. Далее: согласно Эренфесту, в этой вращающейся системе, наоборот, как раз ничего и не произошло. Опять же, опираясь на положения специальной теории относительности, радиальные размеры "внутренностей" цилиндра остались неизменными и равными радиусу цилиндра в состоянии покоя. Мы вновь выделили, подчеркнули название теории, обосновывающей отсутствие радиального сокращения. Выразим это ещё раз более определённо: Эренфест заявил, что радиус цилиндра остаётся неизменным строго согласно положениям специальной теории относительности. Нет никаких прямых или косвенных намёков на какую-либо неевклидовость пространства во вращающемся цилиндре. Сказано строго и однозначно: радиус подчиняется, как принято считать, положениям специальной теории относительности. Более того этот *неизменный* радиус цилиндра опять же наблюдается *извне*, из неподвижной системы отсчёта. Внешний наблюдатель видит радиус вращающегося цилиндра ровно таким же, каким он

был в неподвижном состоянии. Для этой внешней системы нет, не наблюдается никакого "изменения масштаба", нет никакого *изменения*.

В итоге внешний наблюдатель располагает двумя измеряемыми и измеренными величинами: длиной окружности цилиндра и его радиусом, поэтому может сравнить их, найти их отношение. И это отношение длины окружности цилиндра к его радиусу в процессе вращения, как считается, будет меньше, чем в неподвижном состоянии, то есть, *меньше* π. Мы исправляем случайную ошибку из учебника, считая её непринципиальной. Как всеми признано, в этом искаженном отношении и состоит парадокс Эренфеста: радиусы цилиндра не позволяют сократиться его окружности. Однако заявления о сокращении окружности и неизменности радиусов являются, утверждениями, прямыми *следствиями* или, используя терминологию формальной логики, являются двумя *суждениями* специальной теории относительности. Первое суждение: длина окружности уменьшается; второе – радиус цилиндра остаётся неизменным. Оба указанных суждения, как заявлено многими авторами, строго доказываются специальной теорией относительности. Следовательно, мы получили два, считающихся доказанными, взаимоисключающих утверждения, суждения которые в формальной логике и называют парадоксом:

"Нередко парадокс возникает, когда два взаимоисключающих (противоречащих) суждения оказываются в равной степени доказуемыми".

Отсюда мы можем сделать вывод о том, что же является действительно *решением* этого парадокса, устранением противоречия. Простейшее решение – это невозможность привести во вращение абсолютно твёрдый цилиндр. Но это идеализация. Следовательно, цилиндр из обычного

материала привести во вращение можно. В этом случае решением было бы либо деформация радиусов, либо эластичное растяжение окружности. В частности, в случае, когда радиусы цилиндра более жёсткие, чем его окружность, то последняя должна останется неизменной. Но это означает *физическое* сохранение её длины. Однако, независимо от жёсткости материала цилиндра, внешний наблюдатель *обязан* видеть сокращение окружности, это неизбежное требование теории. То есть, и в этом случае мы получаем неприемлемый итог. Есть и другие попытки решения, но ни одна из них не получила всеобщего признания, все они являются, по существу, подменой основных положений "парадокса Эренфеста". Все они – решения другого, похожего, но всё-таки не "парадокса Эренфеста". Таким образом, *решением* парадокса следует считать *объяснение*, каким образом одновременно и радиусы остались неизменными и окружность уменьшилась. Традиционный подход с буквальной, даже догматической трактовкой положений специальной теории относительности такого объяснения не даёт, нет у него решения парадокса.

Отдельно следует отметить, почему окружность в нашем случае, в нашей аргументации *всегда* характеризуется этим инвариантным π – отношением. Сводится эта инвариантность отношения к вопросу: уменьшится ли *диаметр* вращающегося обруча по отношению к неподвижному состоянию? Наши исследования показали: да, уменьшится. И тот же вопрос возникает в отношении длины окружности: уменьшится ли она у вращающегося обруча по отношению к неподвижному состоянию? Ответ естественный и никем не оспариваемый: да, уменьшится. Тогда уточним вопрос и спросим: чем характеризуется окружность как геометрический объект? Обычная евклидова окружность, которую можно на его плоскости нари-

совать любым раствором циркуля (третий постулат Евклида). Раствор циркуля – это и есть радиус окружности. То есть, буквально, окружность – это "порождение" радиуса. Другими словами, у вращающегося обода, являющегося окружностью, есть радиус. Звучит, конечно, забавно – у окружности есть радиус. Но совсем не забавно звучит вопрос: а чему этот радиус равен? И здесь становится явной ошибочность приведённых неевклидовых аргументов классиков. У крутящегося круглого *обруча* есть некий радиус и, вопреки им, этот радиус меньше, чем у обруча в неподвижном состоянии. Эренфест, Эйнштейн (видимо), Ландау – Лившиц и рецензент моей статьи утверждают, что радиус у окружности остался прежним. И тем самым все перечисленные физики автоматически, неизбежно приходят к утверждению: это парадокс!

Для большей ясности рассмотрим следующий пример. Некий неподвижный обруч радиусом 1 метр имеет длину окружности 2π метра. Другой, такой же неподвижный обруч с длиной окружности в 1π имеет, соответственно, радиус 0,5 метра. Если раскрутить первый обруч до линейной, тангенциальной скорости 0,866c, то длина его окружности, согласно утверждениям всех упомянутых и не упомянутых физиков, уменьшится в два раза и составит 1π. То есть, мы получаем обруч с длиной окружности 1π. Однако заметим, что у этого обруча, как и у первого, нет никакого *физического* диаметра или радиуса. Это не круг, а "пустая" окружность, обруч. А у такой окружности, как мы отметили выше, такой "невидимый" радиус равен 0,5 метра. Кроме того, заметим, что эта окружность *плоская*. Это не объёмная фигура Лиссажу, не восьмёрка, не квадрат. Причём, если материал её однотонный и гладкий, то извне вообще невозможно определить покоится обруч или вращается.

Таким образом, свободный обруч, внутри которого нет препятствий, спокойно уменьшает свой диаметр при раскручивании. Это элементарная геометрия, причём определённо евклидова. Утверждать, что у рассмотренного вращающегося *обруча* с длиной окружности 1π радиус равен 1 метру, нелепо. Понятно, что под радиусом подразумевается половина расстояния между двумя *диаметрально* расположенными точками обруча.

"Более того, автор не замечает, что полемизирует он, по существу, не с Эренфестом, а с основами специальной теории относительности. В любом учебнике, излагающем эти основы, при первом же представлении преобразований Лоренца указывается, что при переходе от одной инерциальной системы координат к другой преобразованию подвергаются только масштабы в направлении параллельном скорости относительного движения систем. Масштабы же в направлениях перпендикулярных не изменяются".

Единственное, с чем в этой цитате *нельзя* согласиться, это с первым предложением. Всё остальное верно. По первому предложению заметим, что это как раз рецензент не замечает того, что автор жёстко *отстаивает* основы специальной теории относительности. Полемизирует он с теми, кто искажает эти основы, догматически их трактуя. Чтобы понять это, свою ошибку, рецензенту следовало бы внимательно изучить представленные в статье доводы. Если бы он смог в них разобраться, а они, следует заметить, тривиальны, то тогда он не заявил бы, что

"Вряд ли можно спорить с тем, что на вращающемся диске любой элемент радиуса окружности с центром на оси вращения движется перпендикулярно своей длине. Именно об этом и говорил Эренфест".

Во-первых, какой-то странный у рецензента перпендикуляр – это, вообще-то, окружность. Что представляет собой перпендикулярная окружность? Детально вопросы о параллельных и перпендикулярных линиях рассмотрены в моей статье на сайте Самиздата "Парадоксы параллельности".

Во-вторых, видимо, это и ввело Эренфеста и всех его последователей в заблуждение. Любой элемент радиуса, в том числе, точечный движется по окружности. Более того, длина этой окружности испытала то же самое лоренцево сокращение, следовательно, каждый элемент радиуса проходит *разный* путь. А это, с учетом предыдущей цитаты, вообще-то, к специальной теории относительности не имеет практически никакого отношения, это примитивная трактовка её положений, радиус не находится в инерциальной системе отсчёта. Здесь никакого перехода "от одной инерциальной системы координат к другой" нет и быть не может. Радиус не находится в инерциальной системе, мы просто *рассматриваем* его из другой системы, инерциальной, что специальной теорией относительности не запрещено.

"Все дальнейшие выводы и построения в рецензируемой статье основаны на этом утверждении о Лоренцевом сокращении радиусов окружностей, имеющих центры на оси равномерно вращающегося диска, и поэтому, на мой взгляд, не могут быть правильными".

Взгляд, следует отметить, поверхностный. Аналитические выкладки в рецензируемой статье рецензент просто не рассматривал. Принцип известный – "не читал, но знаю". Также добавим, что в приведённой цитате рецензент поменял местами причину и следствие. Нет, не выводы и построения основаны на утверждении. Наоборот, проделанные построения автоматически привели к выводу

о лоренцевом сокращении радиусов вращающихся окружностей. Именно так, а не наоборот, не так, как заявил рецензент.

В заключение отметим упомянутую выше пользу от таких отрицательных заключений. Мы определили, что все аргументы рецензента ошибочны и предвзяты. Следовательно, рассматривать их как конструктивно критические нет никаких оснований. Наши аргументы либо вообще на рассматривались, либо подменивались собственными догматическими представлениям рецензента. Тем самым рецензент фактически подтвердил корректность, справедливость и неопровержимость наших выкладок:

Диаметр или радиусы вращающегося цилиндра или колеса испытывают точно такое же лоренцево сокращение, что и поверхность цилиндра, обода колеса.

Обсуждение с читателем

Помимо рецензии из журнала, мы получили ещё целый ряд замечаний в комментариях к статье на сайте Самиздата от одного из читателей, которого здесь будем называть оппонентом. К сожалению, из-за непонятной ошибки статья была удалена с сайта, поэтому будем использовать архивные копии комментариев.

Это обсуждение с читателем оказалось действительно полноценным обсуждением в режиме "вопрос-ответ". Переписка разделилась на два раздела, поэтому будем рассматривать второй раздел, который оппонент назвал обобщающим,

"Данный отзыв – обобщающий. ... Он объединяет все мои, ранее здесь опубликованные, критические замечания".

Отметим, что в данный момент это уже не обсуждение, а, по сути, анализ обсуждения, состоявшегося ранее, поскольку второй его участник сейчас не имеет возможности ответить. Прежде чем приступить к рассмотрению аргументов участников, приведём одно из последних высказываний оппонента, чтобы получить представление о его отношении к теории относительности и, следовательно, к её парадоксам. Особенно ярко и отчётливо оппонент раскрыл свои взгляды в ответе на последнее авторское, наше сообщение:

"Мне-то зачем излагаете Ваши личные взгляды на парадокс Эренфеста? Вам ведь всё ясно, вот и наслаждайтесь!"

В ответ на это наше последнее, авторское сообщение последовало последнее сообщение оппонента

"Хотя, о чём это я – ведь для Вас даже СТО и ОТО - непротиворечивы (про истинность каждой из них в отдельности – и говорить нечего! – венец творения в физике на все времена)..."

Примечателен оборот "для Вас *даже*", обращаем внимание на последнее слово. Теперь, видимо, нам ясна позиция оппонента и скептическое отношение автора статьи к его аргументам. Переписка состоялась в феврале – апреле 2018 года и при недавнем просмотре архивов обнаружилось, что ответы автора и редки и кратки, вернее, их всего два, то есть, вся переписка, по сути, была монологом оппонента. Связано это исключительно с тем, что его аргументы для автора на тот момент, да и сейчас, выглядели бесполезными. Агрессивная критика, с выставлением собственных заблуждений как ошибок автора статьи. Началась переписка с обвинений автора в противоречивости его доказательств.

"Во-первых, он начал с того, что все эти сокращения – всего-навсего "виртуальные", т.е., лишь кажущиеся стороннему наблюдателю, а на самом деле, в самой движущейся системе, ничего этого НЕ происходит.

Далее приведена подтверждающая цитата из статьи, которая, впрочем, встречается практически в любом учебнике по специальной теории относительности. Противоречием объявлено следующее

"... далее, в ходе своих рассуждений, автор превращает эти кажущиеся явления во вполне реальные, которые становятся у него источником некоей, неопределенной, но вполне РЕАЛЬНОЙ силы, создающей сопротивление вращению, и препятствующей увеличению скорости вращения колеса при приближении тангенциальной скорости максимально удаленных от центра оси вращения точек его окружности к магическому для всех "релятивистов" пределу – скорости света (естественно, всегда, почему-то, в вакууме ...)".

Во-первых, это превращение "виртуального" сокращения в реальную силу или эквивалент реального физического воздействия присутствует во множестве других парадоксов специальной теории относительности. Например, помимо парадокса Эренфеста, это парадокс Белла о двух ракетах, связанных тросом, парадокс транспортёра, парадокс "железного крокодила" и тому подобные. Суть такого "превращения" довольно проста. Если два объекта связаны, то сокращение одного из них ведёт к возникновению *реальной* физическо силы. Каким бы ни было для внешнего наблюдателя это сокращение – виртуальным, кажущимся или реальным. Действительно, наблюдая за этими двумя объектами, мы видим, что один стал короче, а второй – нет. Для нас, для внешнего наблюдателя совершенно неважно, виртуальны или реальны размеры *обоих*

объектов *одновременно*. Мы видим их оба. Хотя, это явление тривиально, но опишем его ещё раз, так сказать, более подробно, но в двух словах. Представим себе два кубика между двумя железобетонными стенами. Один кубик раздулся, виртуально или реально, нам, внешним наблюдателям это *неизвестно*. Разумеется, второй кубик будет сжиматься под действием первого. Будет он сжиматься реально или виртуально, нам тоже неизвестно, это просто тривиальная геометрия. Кроме того, как это чётко описано в парадоксе Белла о двух ракетах, связанных тросом, виртуальная деформация одного из этих объектов, кубиков *двояка*. В системе отсчёта каждого из них деформацию испытывает второй, соседний кубик. То есть, при переходе в ИСО раздувающегося кубика мы увидим, что раздувается не он, а его сосед. Уточним, это отвлечённый пример, он не относится к специальной теории относительности. Приведённая оппонентом далее базовая физическая аксиома, похоже, вводит в заблуждение самого оппонента:

"Чье-то субъективное восприятие явления (объекта) НЕ влияет на само явление (объект)"

Однако, кто и где утверждал, что восприятие наблюдателем лоренцева сокращения объекта меняет этот объект?

"... автор, чувствуя явную ошибочность "базовых принципов СТО", пытается маневрировать в своей апологетике".

Здесь уместно повторить наше регулярно озвучиваемое мнение: специальная теории относительности является строго *доказанной* математической теорией, *безупречной* и *неопровержимой* никакими математическими средствами. По поводу скорости света: оппонент просто блестяще раскрыл причину того, почему его аргументы не за-

интересовали автора статьи. А вот следующий пункт "разоблачения" выглядит довольно странно:

"Во-вторых, вращающуюся окружность (или их множество ...) ... он рассматривает, как единое и неделимое целое ... В этом и заключается его главная ошибка. Независимо от её радиуса, он рассматривает любую окружность как неделимую, своего рода "элементарную".

Да, автор так и рассматривает окружности. А в чём ошибка?

"... все его математические расчеты прекрасно иллюстрируют сокращение длины ... но не всей окружности ... а лишь её дифференциала – бесконечно малого элемента, на которые можно разбить окружность ... т.к. каждый её участок имеет СВОЮ скорость относительно внешнего наблюдателя"

Неверно. Вокруг окружности может находиться бесконечное число неподвижных наблюдателей, поэтому скорость каждого такого элементарного элемента одна и та же относительно собственного, рядом стоящего наблюдателя. Похожая задача в отношении лоренцева замедления часов рассмотрена в нашей книге "Мнимые и реальные парадоксы теории относительности" в разделе "Задача об отставании часов на экваторе". Сокращение окружности вычисляется аналогично.

"Предвидя его "деловое" предложение мне выполнить эту работу за него, отвечу, что это должен делать сам автор статьи, если уж он решил взяться за эту - отнюдь не простую! – задачу, – всерьёз, а не для развлечения детишек в песочнице".

Как говорится, "боже упаси" от таких "деловых" поручений. Оппонент здесь уже объявил эту элементарную задачу "отнюдь не простой", зачем же его обременять. Вообще-то, подобная задача нигде в литературе даже не рас-

сматривается ввиду её однозначной определённости. В парадоксе Эренфеста так и сказано: обод цилиндра, колеса испытывает лоренцево сокращение. В наших вычислениях это показано в самых подробных деталях.

"В-третьих, вычисляя зависимость "сокращения длин" окружностей вращающегося колеса от их тангенциальной скорости, автор просто "подгоняет" получившиеся значения под тот или иной радиус"

Неверно. Автор статьи ничего не подгоняет, просто вычисляет, какой стала новая длина каждой окружности при соответствующей скорости вращения. Поскольку длины окружностей уменьшились, то уменьшились и их радиусы. Приведённая оппонентом цитата из статьи прямо говорит об этом:

"При 'раскручивании' диска два эти обода уменьшили свою длину. Следовательно, радиусы их новых окружностей составят:.."

Вычисления произведены по конкретным релятивистским уравнениям. Далее следует довольно замысловатое утверждение

"... интерпретируя это как "радиальное сокращение длин", и, как следствие – "отсутствие парадокса"

А что такое радиальное сокращение длин? Терминология, заметим, далека от классической. Но будем снисходительны и предположим, что речь идёт именно о том, что автор вычислял: о сокращении *длин радиусов*. Но и обозначенное оппонентом следствие тоже несколько опередило ход событий. Отсутствие парадокса, вернее, его решение было в статье провозглашено несколько позднее и в заметно отличающейся формулировке.

"Но произведенные "по методичке Эйнштейна" вычисления касаются лишь "новых" длин окружностей, и никак не затрагивают их радиусов"

Неверно. У каждой окружности есть один и только один радиус. Если окружность изменилась, то и радиус изменился. В условиях парадокса Эренфеста отношение длины окружности к диаметру всегда и везде равно π. Кстати, сам Эйнштейн, как сообщил Кулигин, для решения парадокса привёл собственные аргументы, которые оказались малоубедительными. В распространённом аргументе о неевклидовом пространстве внутри вращающегося диска умалчивается, что и радиус и длину окружности измеряет и сравнивает *внешний* наблюдатель, для которого эта окружность имеет всё-таки *единственный* радиус – наблюдаемый. Два таких "соосных" радиуса, диаметр, соединяют противоположные точки окружности, поэтому короче окружности в π раз. Для внешнего наблюдателя эта окружность строго *евклидова*.

"... радиусов, которые рассчитываются автором методом простой интерпретации их "новых" длин, как РЕАЛЬНО СУЩЕСТВУЮШИХ, для чего нет никаких оснований, но что автора совершенно не смущает"

Неверно. В этих расчётах одновременно и длины окружностей и длины радиусов можно рассматривать и как виртуальные, и как реальные, для внешнего наблюдателя это не имеет значения. Главный вывод в том, что длины радиусов изменяются точно так же, как и длины окружностей. Виртуально? А что в этом плохого? Оппоненту не нравится, что длины радиусов якобы как-то интерпретируются. А к длинам окружностей есть претензии? Оппонент не замечает, что нет, на этом этапе автор ничего не интерпретировал, а всего лишь доказал: радиусы вращающихся окружностей ведут себя точно так же, как и длины их окружностей. А вот далее оппонент приводит очень показательный, интересный пример, который обязан рассмотреть и сторонник, и противник теории:

"В случае реального РАДИАЛЬНОГО СОКРАЩЕНИЯ вращающегося колеса, в чём нас пытается убедить автор, внешний наблюдатель должен будет видеть источник света, скрытый ЗА ВЕРХНЕЙ (выше 0.707R, по автору) частью колеса, находящегося в состоянии покоя".

Совершенно верно! Это так: должен видеть.

"... можно предположить, что этого источника внешний наблюдатель видеть НЕ БУДЕТ, т.е. никакого РАДИАЛЬНОГО СОКРАЩЕНИЯ колеса он также НЕ УВИДИТ, что и требовалось доказать".

Предположение, как видим, неуверенное. Такой вопрос может возникнуть у любого читателя, поэтому автор включил описание этого эффекта и его объяснение в последний вариант своей статьи. Вместе с тем, "доказательство" оппонента отсутствия сокращения и видимости света является ошибочным. Оппонент упускает из виду хорошо известный в теории относительности факт. Когда в ней описывается лоренцево сокращение движущегося стержня, прямо указывается: в один и тот же момент времени измеряется *положение* его концов. Расстояние между ними и есть *видимая* длина отрезка. Каким, по мнению оппонента, является это лоренцево сокращение: реальным или виртуальным? Ведь для наблюдателя на стержне ничего не изменилось, он видит стержень исходной, несокращённой длины. Впрочем, автор статьи опубликовал ещё несколько работ, в которых назвал эффекты Лоренца *иллюзорными*, что не исключает возможности их наблюдения. Было бы желание. В случае вращающегося колеса, цилиндра или обруча в парадоксе Эренфеста автор статьи назвал сокращение радиусов "поперечным лоренцевым сокращением", сокращением, вызванным сокращением окружности. Другими словами, это *индуцированное* сокращение радиусов, то есть, оно является совместным сокращением *геометри-*

чески связанных объектов. Неважно, как называть сокращение диаметра колеса – реальным или виртуальным, согласно специальной теории относительности внешний наблюдатель его регистрирует *реально*. Далее следует очередное обвинение автора статьи в том, что он оперирует

"... лишь физическими примитивами, вместо полного учета характеристик реальных объектов".

Автор не возражает против такого обвинения. Это именно так, о чём он прямо заявлял, что исследует *математическую* специальную теорию относительности. Поэтому здесь не рассматриваем, в частности, итоги опыта одного из исследователей, который *физически* раскрутил колесо и не обнаружил никакого сокращения. В заключение, отметим, что на приведённый выше вопрос-предложение автора статьи в последнем сообщении на сайте, повторим его

"Мне-то зачем излагаете Ваши личные взгляды на парадокс Эренфеста? Вам ведь всё ясно, вот и наслаждайтесь!"

приведённый выше ответ оппонента был продолжен следующим несколько странным текстом, который здесь, ввиду указанной его странности, мы приводим немного сокращённым. Оппонент заявил, что не хочет

"... без крайней необходимости, браться за решение столь сложной прикладной задачи, стоящей на пределе современных физических знаний ..."

Хотя это заявление имело, скажем так, "задиристое" вступление, его явно можно рассматривать как комплимент, высокую оценку проделанной автором статьи работы. Ведь в ней представлено именно такое решение задачи "на пределе физических знаний". Сам же оппонент скромно, принципиально ограничился

"... концептуальными логическими построениями, "мысленными экспериментами".

Заметим, что все исследования как наши, так и массы других исследователей, и, как видим, нашего оппонента, являются именно такими логическими построениями. Вот только логика у всех исследователей зачастую, мягко говоря, индивидуальна.

Выводы

Сначала повторим, что все обнаруженные в статье явления и эффекты – это результаты анализа мысленных экспериментов строго в рамках *математики* специальной теории относительности. При этом заметим, что в реальном эксперименте фотография диска, раскрученного до огромной скорости, вопреки предсказанию теории не позволила обнаружить изменение его размеров. Вместе с тем, даже в рамках формализма теории оказалось, что некоторые выводы являются ошибочными. В частности, согласно Википедии, это вывод о невозможности привести во вращение абсолютно твердое тело, который определенно не соответствует корректным предсказаниям специальной теории относительности:

"Рассуждение Эренфеста показывает невозможность приведения абсолютно твёрдого тела (изначально покоившегося) во вращение".

Считается, что в специальной относительности существование абсолютно твердого тела невозможно по определению, поскольку оно позволяет производить сверхсветовую передачу сигналов. Поэтому математика теории к таким телам неприменима изначально. Тем не менее, такое тело, как мы показали, можно раскрутить до скорости более чем в две трети от скорости света. При этом никаких парадоксов не возникает, поскольку для

внешнего наблюдателя происходит релятивистское сжатие круга целиком, включая его спицы. Самым же важным, главным выводом является признание ошибочности самой авторской формулировки парадокса, формулировки Эренфеста, будто при раскручивании обычного тела радиус колеса одновременно равен исходному и укороченному значению. Ошибка заключена в утверждении от имени теории относительности, что радиус колеса (спица) не испытывает лоренцева сокращения. Но специальная теория относительности *не делает такого предсказания*. Строго согласно её формализму спицы испытывают такое же *эквивалентное* лоренцево сокращение, как и обод колеса.

При этом, в зависимости от материала колеса, при раскручивании обода до тангенциальной скорости выше 0,7 от световой, оно будет либо разрушено, разорвано, если материал недостаточно эластичен, либо оно целиком испытает лоренцево сжатие до бесконечно малого радиуса с точки зрения внешнего наблюдателя. Если остановить колесо до его разрушения и до достижения скорости 0,7 от скорости света, то оно примет свою исходную форму без каких-либо повреждений. Абсолютно упругое тело способно сохраниться и при достижении скорости выше 0,7 от скорости света. Таким образом, ни одна из рассмотренных формулировок не позволяет говорить о парадоксе как таковом. Корректное и последовательное применение математики СТО позволяет для каждой рассмотренной ситуации сделать полностью непротиворечивые предсказания.

Специальная теория относительности была сформулирована и строго доказана как *математическая* теорема. Более чем за вековой срок её существования эти доказательства никем не были опровергнуты. Поэтому в рамках её математического формализма никакие математические, *мысленные* эксперименты в принципе не могут ей проти-

воречить. Как правило, внешне корректно сформулированные парадоксы теории на самом деле содержат скрытые нарушения её постулатов. Только при их нарушении в теории возникают противоречия. Например, распространение теории на сверхсветовые сигналы, на тахионы сразу же вынуждает её делать противоречивые, взаимоисключающие предсказания.

Вместе с тем, реальному *физическому* миру специальная теория относительности реальному имеет ограниченное соответствие. Физические эксперименты Маринова, Штыркова и некоторых других исследователей ставят под сомнение соблюдение 2-го постулата теории в реальном мире. Едва ли не единственный формально являющийся подтверждением "парадокса близнецов" эксперимент Хафеле-Китинга поставлен под сомнение по причине того, что результат вполне укладывается в пределы погрешности использованной измерительной аппаратуры. Наконец, в квантовой механике обнаружена сверхсветовая корреляция состояний запутанных частиц, что также позволяет в осуществимом физическом эксперименте обнаружить нарушение 2-го постулата, нарушение преобразований Лоренца для темпа хода часов: относительно движущиеся часы идут синхронно.

Придирчивому читателю могло бы показаться, что в приведённых в данной работе рассуждениях есть нечто, напоминающее *противоречие*. Подчеркнём: не парадокс, не *кажущееся* противоречие с точки зрения здравого смысла, а именно – противоречие. Было заявлено, что СТО – это строго доказанная, непротиворечивая математическая теорема, опровергнуть которую невозможно никакими математическими же выкладками. Но при этом утверждалось, что с точки зрения этой же теории никакого лоренцева сокращения времени или отрезков нет, хотя эти выводы счи-

таются строго доказанными, фундаментальными свойствами теории.

Предлагаем читателю чётко сформулировать сущность обнаруженного противоречия. Только, просьба, без каких бы то ни было ссылок на авторитеты, например, тех, кого в народе нередко шутливо именуют Ландавшицами или Пенрокингами, а строго на основе собственной аргументации. Разъяснения об отсутствии противоречий будут приведены позднее, чтобы сохранить интригу и желание дочитать работу до конца.

7. Истоки возникновения эффектов СТО

В некоторых научно популярных фильмах приводится иллюстрация, демонстрация того, как видят неподвижный и движущийся наблюдатель один и тот же фотон. Иллюстрацию мы приводим в упрощённом виде на рисунке рис.7.1. Один из наблюдателей перемещается справа налево в автомобиле, который мы изобразили в виде упомянутой выше тележки.

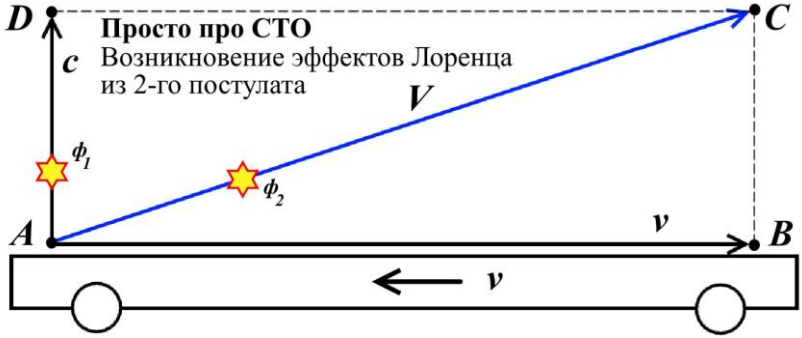

Рис.7.1. Фотон в движущейся ИСО

В его кабине снизу вверх излучается одиночный фотон $ф_1$ или короткий импульс света. Этот наблюдатель видит, что фотон в его кабине перемещается строго верти-

кально. Внешний, неподвижный наблюдатель видит этот же фотон $ф_1$ как фотон $ф_2$, перемещающийся не только вертикально, но и горизонтально. Действительно, в начальный момент фотон излучается в точке А, в которой в этот момент находятся оба наблюдателя. Для наблюдателя в автомобиле фотон переместится в точку D, поскольку для него движение неощутимо, он считает себя неподвижным. Другая ситуация у внешнего наблюдателя. Через некоторое время источник А фотона переместится в точку В, двигаясь со скоростью *v* и пройдя путь АВ. Вместе с ними, вместе с тележкой-автомобилем и источником переместится и наблюдаемый фотон, всегда находящийся строго над источником. Но для внешнего, неподвижного наблюдателя конечной точкой фотона $ф_2$ является теперь точка С. То есть, он видит, что фотон прошёл путь АС с некоторой скоростью V. Поскольку все изображённые на рисунке скорости образуют прямоугольный треугольник АВС, их связывает соотношение для сторон этого треугольника. То есть, кажущаяся скорость V, с которой движется фотон $ф_2$ определяется по закону Пифагора

$$V^2 = v^2 + c^2$$

В обычной, ньютоновой физике скорости складываются как векторы, которые на рисунке изображены стрелками. Помимо направления стрелки, вектора, ему можно приписать ещё одно значение – длину, которая в физике и математике чаще всего обозначает скорость. Практически каждый, кто пытался на листе бумаги показать, как пройти куда-то чаще всего изображал направление движения стрелками, которые, правда, в этом случае отражали только направление, но не скорость.

С учётом этих скоростей, векторов на рисунке можно определить и путь, пройденный каждым из фотонов, просто умножив скорость на время в пути. Поскольку со-

гласно законам специальной теории относительности, которых мы пока явно не видим, в подвижной и неподвижной системах отсчёта время течёт по-разному, предусмотрительно, на всякий случай обозначим их как t – время в неподвижной ИСО и t' – время в движущейся ИСО. Умножим каждую скорость на соответствующее ей время и получим, что пути, пройденные фотонами, также связаны законом Пифагора

$$V^2t^2 = v^2t^2 + c^2(t')^2$$

Произведём элементарные преобразования уравнения: перегруппируем слагаемые

$$c^2(t')^2 = t^2(V^2 - v^2)$$

Теперь применим главнейший постулат специальной теории относительности об инвариантности скорости фотона, независимо от того, наблюдает его неподвижный или движущийся наблюдатель, то есть, V = c. Следовательно

$$c^2(t')^2 = t^2(c^2 - v^2)$$

$$(t')^2 = t^2\left(\frac{c^2 - v^2}{c^2}\right)$$

Извлекая корень и сократив дробь в скобках, получаем классическое уравнение специальной теории относительности, имеющее собственное имя – уравнение Лоренца

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

Оно означает, что инвариантность скорости фотона, скорости света приводит к тому, что движущиеся часы t', наблюдаемые из неподвижной системы отсчёта, идут медленнее, чем неподвижные t. Множитель с квадратным корнем в уравнении иногда называют коэффициентом Лоренца и обозначают греческой буквой гамма. Очевидно, что

относительная скорость движущейся ИСО относительно неподвижной *v* – это та же скорость, что и относительная скорость *v* неподвижной ИСО относительно движущейся. Умножив обе части уравнения на эту скорость, мы обнаружим, что пройденные системами отсчёта пути относительно друг друга также оказываются разными. Уравнение этого соотношения имеет тот же вид, что и уравнение для времени, в котором нужно просто заменить символы времени t на символы расстояния L и L'. Путь в неподвижной ИСО больше, чем путь в движущейся, или в традиционной формулировке: длина движущегося стержня для неподвижного наблюдателя видна укороченной.

Для удобства очень часто выбирается такая система единиц, в которой значение скорости света равно единице: c = 1. Например, такой системой единицей является система, в которой время измеряется в годах, а расстояние – в световых годах. В этом случае в уравнении исчезает дробь. Кроме этого величины длин и времени в тексте выглядят заметно компактнее. Действительно, скорость света равна 300`000 км/сек. В выбранной системе единиц она равна 1. В рассматриваемых в статье задачах одна из дистанций равна 9 световым годам, то есть, расстоянию, которое свет проходит за 9 лет. В километрах эта запись имела бы примерно следующий вид: 85'847'040'000'000 км, либо, в лучшем случае, ~ $8{,}6^{+13}$.

Классический набор уравнений для движения только по одной координате имеет общее название – преобразования Лоренца. Это уравнения для определения времени и расстояния в движущейся системе через время и расстояние в неподвижной. К набору обычно добавляются ещё два уравнения, отражающие неизменность расстояний, длин по двум другим координатам.

8. Противоречивые мнения в науке

Мы рассматривали специальную теорию относительности, и, казалось бы, обнаруженные противоречия являются частным, нехарактерным примером для физики и математики в целом. Но это не так. Противоречий, абсурдов, подобных рассмотренным, в них немало. При этом преподносятся такие неверные решения как единственно верные. Вместе с тем, сами по себе эти ошибки возникают зачастую, что называется, на ровном месте. Вызывает удивление, но выявляются они обычно элементарными вычислениями. Приведём несколько таких странных ошибочных выводов.

Медленное перемещение – часы отстанут

Существует довольно любопытное заблуждение: если двое часов сближаются с очень медленной скоростью, то их взаимное отставание будет минимальным, меньше, чем при сближении с субсветовой или даже световой скоростью. Как считает Скобельцын:

"В этой связи существенно еще отметить, что если *достаточно медленно* перемещать часы a_2 в направлении к a_1 или, наоборот, a_1 к a_2 и в результате такого перемещения совместить в пространстве a_1 с a_2, то синхронизм данной пары часов в пределах сколь угодно малой погрешности Δt не нарушится".

Такое же мнение высказано и в работе Мардера

"Чтобы исключить действие фиктивных сил на С и сохранить темп хода часов С как можно ближе к темпу часов А и В, перенос должен производиться как можно более медленно и плавно".

Однако это ошибка, которая просто довольно завуалирована. Мы рассмотрели двое часов А и В, находящихся

на некотором расстоянии друг от друга, и вычислили, в каком из этих двух вариантах приближающиеся часы отстанут меньше. Оказалось, что чем *меньше* скорость сближения, тем *больше* отношение времени этого сближения ко времени сближения со скоростью света. Буквально это означает, что уменьшение скорости сближения часов приводит к увеличению времени отставания, нарушению синхронности хода движущихся часов, вопреки распространённому мнению. Таким образом, если по условиям задачи желательно сблизить часы с минимальным влиянием лоренцева эффекта на движущиеся часы, сближение следует производить со световой или близкой к ней скоростью.

Добавим, что в цитируемых работах авторы, судя по всему, предполагают, что лоренцевы эффекты наглядно проявляются главным образом при субсветовых скоростях. Однако проведённые вычисления показали, что при минимальных скоростях вклад эффектов лоренцева замедления часов оказывается существенно выше, чем при субсветовых скоростях.

Проблема притяжения тела внутри сферы

Мы рассмотрели примеры некорректного, ошибочного применения положений специальной теории относительности. Подобные отклонения от положений теории можно найти и при использовании общей теории относительности, в теории гравитации. Следующий пример рассматривает гравитационное явление, поэтому его можно отнести именно к этой теории.

По меньшей мере, в трёх разных работах довольно авторитетных учёных можно встретить утверждение, что тело внутри полой сферы не испытывает силы притяжения со стороны этой сферы, то есть, находится в невесомости в

любой её точке. Снаружи сферы, как считается, всё бесконечное пространство заполнено веществом, либо сама тонкостенная сфера имеет некоторую массу. Однако путём довольно простых вычислений с нашей работе "Силы притяжения внутри обруча, сферы, между двух точек" мы показали, что это ошибочный вывод. Такое тело в невесомости находится только в центре сферы. В любой другой точке внутри сферы оно будет притягиваться к ближайшему участку этой сферы.

Радиус наблюдаемой Вселенной

Предыдущие примеры отклонений от формализма теории относительности можно назвать мелочью, простым недоразумением, вызванным невнимательностью исследователей. На любые последующие выкладки и выводы они не оказывают практически никакого серьёзного влияния. Но следующая работа, если и не противоречит теориям относительности, то в некотором смысле бросает на них тень. Эта работа, если можно так выразиться, находится на пересечении сфер влияния специальной и общей теории относительности. В ней рассмотрены фундаментальные, теоретические вопросы, которые, следует признать, имеют несколько отдалённое отношение к прикладным, техническим задачам. Мы рассмотрим их, по указанной причине – критических высказываний в адрес специальной теории относительности.

Практически при любом обсуждении Вселенной можно встретить выражение "радиус наблюдаемой Вселенной", горизонт видимости или кратко – наблюдаемая Вселенная. Вопрос о смысле этих понятий возникает довольно редко, поскольку они считаются простыми и очевидными. Однако при внимательном рассмотрении можно

обнаружить, что у этих понятий вообще-то отсутствуют обоснованные конкретные значения. Вернее, найти обоснование этих величин непросто. Хотя в литературе, во множестве источников, в научно популярных передачах регулярно встречается размеры наблюдаемой Вселенной порядка 46 млрд. световых лет. Точный расчёт этой величины мы обнаружили лишь в одной единственной работе: в статье Дэвис с соавторами "Expanding Confusion: common misconceptions..." или в полном переводе на русский язык: "Путаница с расширением: распространенные заблуждения о космологических горизонтах и сверхсветовом расширении Вселенной". Далее, при необходимости сослаться на эту статью, мы будем указывать её название в укороченном виде: "Expanding Confusion...". В статье величина радиуса Вселенной выводится без *детальных* аналитических выкладок и демонстрируется на диаграммах.

В процессе ознакомления с работой возник целый ряд вопросов и возражений. Нет сомнений в квалификации авторов, положения общей теории относительности они, видимо, используют верно, поскольку критических замечаний к ним от других учёных нет. Проблема в *трактовке* этих положений и результатов, полученных от их применения. Некоторые утверждения авторов неверны. Например, возможность наблюдения частиц, находящихся за пределами сферы Хаббла. Утверждается, что нет никаких препятствий, чтобы наблюдать галактики, которые имеют и всегда имели скорости удаления, превышающие скорость света.

Сфера Хаббла – это некая условная граница, на которой скорость расширения пространства, удаления от её центра равна скорости света. Любая частица, двигаясь к нам, к центру сферы со скоростью света, одновременно удаляется от него и от нас с этой же световой и даже

большей скоростью. То есть, приблизиться к нам у неё нет никакой возможности. Все процессы в расширяющейся Вселенной связаны с параметром Хаббла, который определяет, как быстро Вселенная расширяется. В статье утверждается, что даже в *ускоренно* расширяющейся Вселенной этот параметр может *уменьшаться*. Это неверно. Неизменный параметр Хаббла соответствует *равномерному* расширению Вселенной. Растущее со временем значение параметра отвечает *ускоренному*, а уменьшающееся – *замедленному* расширению Вселенной. Обоснование ускоренного расширения при уменьшении параметра состоит в том, что в уравнении для параметра Хаббла, являющемся дробью, числитель якобы растёт медленнее знаменателя. Но обе величины в дроби математически связаны друг с другом – это функция в знаменателе и её производная в числителе. И связывающей величиной является как раз постоянная Хаббла в её исходном понимании. При увеличении функции, например, в 2 раза её производная возрастает так же в 2 раза.

В статье утверждается, что концепции специальной теории относительности неприменимы к Вселенной, к космологии. Утверждается, в частности, что в момент сверхсветового инфляционного расширения Вселенной все объекты двигались с *досветовой* скоростью. Это неверно. Исследователи и авторы инфляционной гипотезы сходятся на едином мнении: инфляция – это *сверхсветовое* расширение Вселенной.

Мы исследовали условия движения света и объектов в равномерно расширяющей Вселенной, то есть, с частным случаем, *неизменным* параметром Хаббла. Конечно, это отличается от обнаруженного явления ускоренного расширения Вселенной, но погрешность невелика, поскольку, во-первых, ускоренное расширение началось по-

рядка 6 млрд. лет назад, а увеличение параметра Хаббла составило незначительные 5 – 6%.

В наших исследованиях получены результаты, во многом отличающиеся от заявленных в статье "Expanding...". Выведенное уравнение движения света в расширяющейся Вселенной показало, что фотоны удаляются от своего источника со скоростью, кратно превышающей скорость света. За время существования Вселенной до Земли в наши дни дошли фотоны, которые находились в начальный момент на удалении порядка 9 млрд. св. лет. Сейчас галактики, излучившие эти фотоны, находятся от нас на удалении свыше 25 млрд. св. лет. Утверждать, что мы наблюдаем именно эти, на удалении 25 млрд. св. лет, галактики – неверно. Более того, наблюдать их мы не сможем теперь уже никогда. Следовательно, называть эту удалённость *наблюдаемой*, по меньшей мере, странно.

Наблюдаемые галактики, самые дальние на сегодня, в момент начала расширения Вселенной 13,8 млрд. лет назад находились от будущей Земли на расстоянии порядка 9 млрд. св. лет, поэтому очевидно и логично назвать *наблюдаемой* именно эту исходную удалённость. Однако это наблюдаемая Вселенная именно в *наши* дни.

Очевидно, что спустя многие годы мы увидим и галактики, которые на момент излучения находились от нас *немного* дальше. То есть, это *будущая* наблюдаемая Вселенная. Но как далеко могут находиться эти наблюдаемые в будущем галактики? Расчёты и диаграммы отчётливо показали, что галактики, находившиеся в момент излучения дальше сферы Хаббла, то есть, дальше, чем 13,8 млрд. св. лет, мы не увидим *никогда*. В соответствии с определением наблюдаемой Вселенной, эту дистанцию начального излучения следует назвать горизонтом Вселенной. Всё, что дальше горизонта нам недоступно для

наблюдения даже в самом отдалённом будущем. И вот что обнаружилось в процессе дальнейшего анализа диаграмм и уравнений движения. Будущие *наблюдаемые* галактики, находящиеся внутри сферы Хаббла, мы, конечно, увидим. Но через очень большое время. Чем ближе они находятся к сфере Хаббла изнутри, тем дольше свет от них будет идти к нам. При этом свет испытает значительное красное смещение, и, казалось бы, нам следует считать, что галактики находятся от нас на громадном удалении, кратно превышающем горизонт Вселенной. Возникает парадоксальная ситуация: мы не увидим галактик на горизонте размером в 13,8 млрд. св. лет, но будем регистрировать галактики, которые находятся от нас на удалении в сотни миллиардов световых лет. В этом нет никакого противоречия. Наблюдаемые галактики, действительно, *сейчас* находятся на таком удалении, но мы сейчас видим не их, а их *прошлый* образ. В нынешнем их состоянии мы их не увидим никогда. Чем ближе галактика к горизонту, тем позднее мы её увидим, но радиус их *видимости* всегда меньше горизонта Вселенной. Итак:

Радиус видимости Вселенной, радиус наблюдаемой Вселенной в наши дни равен приблизительно 9 млрд. св. лет. Это удалённость видимых галактик на момент излучения ими света 13,8 млрд. лет назад, дошедшего до нас в наши дни.

Горизонт видимости Вселенной численно равен её возрасту, 13,8 млрд. св. лет. Это удалённость галактик на момент излучения, с которой мы их никогда не увидим. На момент начала расширения Вселенной самая дальняя галактика, сегодня ушедшая за горизонт

событий, за сферу Хаббла находилась от будущей Земли на удалении порядка 5 млрд. св. лет.

Радиус будущей наблюдаемой Вселенной может быть любой величиной, не превышающей радиуса сферы Хаббла. Но время, когда мы увидим объекты вблизи него, может быть любым, вплоть до бесконечности. Зависит это наблюдение от нашей возможности принимать от наблюдаемых галактик сигналы в том или ином виде. Очевидно, что фотоны при некотором предельном красном смещении мы увидеть не сможем, они превратятся в радиосигналы, причём с громадной длиной волны. Последние фотонные сигналы образуют радиус фотонной наблюдаемой Вселенной.

По сути, всё это выглядит так, будто мы получили не просто парадокс, а буквально противоречие и даже абсурд, который у многих отобьёт желание к исследованиям. Начиная с наших дней, мы никогда не сможем наблюдать галактику в *сегодняшнем* состоянии, находившуюся на начало расширения Вселенной на удалении от Земли в 5 млрд. световых лет. Но сегодня мы реально *наблюдаем* галактику, находившуюся в тот же момент на удалении в 9 млрд. световых лет. Ответ простой: галактику на удалении 5 млрд. световых лет мы уже наблюдаем, причём очень давно. Но то, что на ней произойдёт, начиная с сегодняшнего дня, мы уже никогда не увидим, она отныне – за горизонтом видимости.

Следует отметить, что в процессе исследований горизонтов Вселенной, мы практически случайно, неожиданно получили результат, к которому вообще не стремились. Результат не просто странный, а даже можно сказать, ошеломительный. Согласно астрономическим наблюдени-

ям сверхдальние галактики, сверхновые оказались менее яркими, чем ожидалось, чем это следовало из стандартного закона Хаббла. Но это прямо означает, что эти галактики находятся дальше, чем предсказывал закон Хаббла. Несложные вычисления показали, что такое возможно лишь в одном случае: Вселенная расширяется замедленно. Только в этом случае сверхдальние галактики, сверхновые типа Ia могут иметь яркость меньшую, чем это следует из стандартного закона Хаббла.

Неравенства Белла и квантовая нелокальность

Противоречия в специальной теории относительности, которые мы обнаружили выше, относятся к *математической* теории относительности, которая верна и непротиворечива по определению. То есть, все эти противоречия – кажущиеся, вызванные некорректным применением положений теории. Но область применимости математической специальной теории относительности физики расширили и применили её к реальному *физическому* миру. Более того, объявили её применимость и к сверхсветовым движениям. До некоторого времени никаких проблем не наблюдалось. Но затем "на арену" вышла ещё одна фундаментальная теория – квантовая механика. И теперь у *физической* специальной теории относительности стали возникать серьёзные проблемы, противоречивые предсказания.

Об этом не принято говорить слишком часто и открыто, но квантовая механика явно противоречит физике специальной теории относительности. Напротив, чаще всего говорят о так называемом "мирном сосуществовании" двух теорий. Однако одно из открытий, относящееся более к квантовой области, нежели к релятивистской, определённо противоречит главному постулату теории относи-

тельности о предельности скорости света. Это явление запутанности частиц и связанная с нею нелокальность. И теоретически и экспериментально подтверждено, что две квантовые частицы в запутанном состоянии буквально "чувствуют" друг друга. Если измерить состояние одной из них, то другая *мгновенно* изменит и своё состояние, причём эти два состояния являются коррелированными, то есть, строго соответствующими друг другу. Например, если один из запутанных фотонов при измерении покажет вертикальную поляризацию, то парный ему фотон получит горизонтальную поляризацию и наоборот. Такая взаимосвязь *мгновенна* и проявляется на любом *расстоянии*, поэтому получила название квантовой нелокальности, что, собственно и означает отсутствие взаимодействия между объектами со скоростью, превышающей скорость света.

Хотя итоги измерения носят случайный характер и не позволяют, как принято считать, передавать классическую информацию, явление вызвало тревогу у физиков. Были предприняты попытки обосновать, объяснить явление в пределах формализма специальной теории относительности. Одно из таких объяснений опиралось на так называемые дополнительные параметры, к которым сводились, например, доводы Эйнштейна и его сотрудников, которые пошли дальше и даже подвергли сомнению полноту самой квантовой механики. Их возражения впоследствии получили название ЭПР-парадокс – по первым буквам фамилий авторов гипотезы. Суть возражения состояла в том, что квантовая механика не полна, волновая функция не позволяет дать полное описание реальности, о чём свидетельствует явление запутанности квантовых частиц. ЭПР-гипотеза и ряд других схожих теорий предполагают, что частицы в момент первичного взаимодействия приобретают некие скрытые параметры, после чего при измере-

нии просто их используют. Но измерение – это вероятностный процесс, поэтому, в конечном счете, всё должно сводиться к *случайному* совпадению результатов измерений. По мнению Эйнштейна, результаты измерения частиц косвенно являются зависимыми. Эта зависимость формируется в момент запутывания частиц и сохраняется до конца опыта. То есть, состояния частиц формируются случайным образом в момент их разделения. В дальнейшем они сохраняют полученные при запутывании состояния, "хранят" эти состояния в неких элементах физической реальности, описываемых "дополнительными параметрами".

Собственно, проблема ЭПР возникла именно из-за сверхсветового влияния двух измерений друг на друга. В этом случае любое влияние, тождественное обмену сигналами будет противоречить специальной теории относительности, запрещающей сверхсветовые сигналы. Как компромисс принято считать, что в этом процессе не происходит обмена *классическими* сигналами – никаких носителей таких сверхсветовых сигналов не обнаружено. Поэтому в квантовую механику введено мистическое понятие о нелокальности – влияние есть, но никаких сигналов, осуществляющих такое влияние, нет, а обменную информацию назвали квантовой информацией.

Однако гипотезе о дополнительных параметрах был нанесён сокрушительный теоретический удар. Джон Белл строго математически показал, что никакие дополнительные параметры или скрытые переменные не способны объяснить такую сильную корреляцию между запутанными частицами: их поведение было явно более взаимосвязанным, чем позволяла классическая теория вероятностей для двух *независимых случайных* событий. Выводы Белла в дальнейшем получили название теоремы Белла и в литературе обычно представляются в виде так называемых нера-

венств Белла. У разных авторов эти неравенства выглядят по-разному. При этом ни одно из них не имеет того вида, что разработал их автор – Белл. Неравенства, если говорить обобщенно, используются в качестве основного аргумента в споре между локальным реализмом Эйнштейна и квантовой нелокальностью, обосновывая победу последней. Согласно выкладкам Белла случайность не может объяснить наблюдаемую в эксперименте корреляцию между частицами, то есть, неравенства Белла сами по себе лишь отражают факт, что поведение запутанных частиц не может быть описано *вероятностно*. Поведение частиц выглядело так, что совпадение их состояний не простое *случайное* совпадение. Но и *зависимость* состояний частиц квантовая механика не хотела признавать, поскольку это противоречит теории относительности, требующей носителя такой зависимости. Пришлось ввести мистическую нелокальность. Никакого иного смысла математические уравнения неравенств Белла не несут. Конечно, следует уточнить, что стохастическое, вероятностное, но строго коррелированное поведение запутанных частиц происходит только в теориях с дополнительными параметрами.

Собственно, следует признать, что в выкладках Белла главным является не сам прототип неравенств, теорема, а выводы, к которым пришёл Белл. В двух словах выводы гласили, что в теории с дополнительными параметрами должен быть некий неизвестный нам механизм, посредством которого настройки одного *измеряющего* устройства способны влиять на способность чтения состояний частиц другим отдаленным измерителем.

Буквально это означает зависимость друг от друга не состояний частиц, а приборов, с помощью которых производятся измерения этих состояний. Измерительные приборы, относящиеся к такой теории, должны подстраивать-

ся друг под друга так, что результаты измерений будут скоррелированы. При этом скорость такого взаимодействия приборов должна быть сверхсветовой. Другими словами, если с позиции теории с дополнительными параметрами мы будем утверждать, что результаты измерений над каждой частицей полностью независимы друг от друга, независимы в физическом смысле, а все совпадения являются статистическими следствиями, то есть, по существу, они всего лишь случайные совпадения, то в этом случае мы будем вынуждены переложить весь груз этой совпадающей случайности на некий механизм, упомянутый Беллом. При этом такой механизм должен обладать способностью подстраиваться под измерения со сверхсветовой скоростью. Следовательно, такая теория точно так же противоречит специальной теории относительности, и поэтому точно так же отвергает ЭПР-аргументы.

Вывод Белла фактически подразумевает подтасовку результатов измерителями. Но и при этом мы наблюдаем всё те же – квантово-механические показания измерителей! То есть, полностью согласующиеся с экспериментом. Вероятностное поведение *частиц* по-прежнему "скрыто" от наших глаз, и влияние *измерителей* друг на друга не даёт ничего нового в пользу нелокальности. Вместо очевидно опровергнутой идеи о сверхсветовой связи между частицами Белл вводит сверхсветовую связь между… измерителями. Хотя формально это мало что меняет: сверхсветовая связь нужна, и она явно опровергает *вероятностное* поведение частиц как *независимых* систем.

Таким образом, выкладки Белла однозначно и предельно убедительно отвергли любую теорию с дополнительными параметрами, которые можно условно назвать теориями с "предустановленной корреляцией частиц". Но какова альтернатива? И здесь мы вынуждены заявить, что

неравенств Белла, по сути, превращены в миф, догмат квантовой механики, призванный за нелокальностью скрыть достаточно очевидные выводы:

- экспериментально (Ален Аспект) показано, что наблюдаемая корреляция между запутанными частицами не является вероятностной, стохастической, следовательно, поведение частиц является строго *зависимым* друг от друга. Как говорится, третьего не дано;

- любая зависимость на расстоянии требует признать существование реальных физических носителей, частиц. Эти частицы, согласно экспериментам, должны распространяться со сверхсветовой скоростью. Применение к ним формализма специальной теории относительности недопустимо, поскольку прямо ведёт к возникновению причинных парадоксов, вернее даже, противоречий, абсурдов. Теория, которая делает абсурдные предсказания, не может считаться научной теорией.

Отсюда утверждение Эйнштейна о неполноте, незавершённости квантовой теории приобретает иной, более взвешенный смысл. Единственное квантовое "объяснение" корреляции запутанных частиц – нелокальность – приобретает все черты абсурда. Утверждается, что между объектами нет взаимодействия, но признаётся, что ведут они себя совсем не таким образом, будто этого взаимодействия нет. Абсурд квантовой нелокальности делает абсурдной и саму квантовую теорию. При этом следует отметить, что само уравнение, описывающее явление запутанности, так называемый закон Малуса имеет вид, в точности соответствующий уравнению вероятности совпадения двух *зависимых* событий классической теории вероятностей. Подчеркнём это особо: уравнение закона Малуса при внимательном рассмотрении имеет в точности тот же вид, что и

уравнение классической теории вероятностей для вероятности совместного наступления двух *зависимых* событий

Попытка обоснования этого явления, в котором "взаимодействия нет, но оно есть", привело к созданию не менее абсурдной квантовой логики или квантовой теории вероятностей, подменяющих классические. Классический закон сложения вероятностей взаимозависимых событий заменён на суммирование амплитуд вероятностей. Классические представления о зависимых событиях, фактически описывающих поведение запутанных частиц, заменены на квантовую нелокальность.

Вместе с тем, нелокальность не решила главной проблемы, против которой она и была выдвинута: нарушения постулата СТО о предельности скорости света. Утверждение о "мирном существовании" теории оказалось мнимым, запутанность явно передавала классическую информацию со сверхсветовой скоростью. Несколько примеров такой передачи мы привели в нашей книге "Тахионный кризис СТО". Суть их достаточно проста и очевидна. Два наблюдателя, удаляющихся друг от друга с большой скоростью, регистрируют запутанные частицы. Результаты записывают в виде последовательностей меток, знаков, обозначающих, например, вертикальную или горизонтальную поляризацию. Очевидно и неопровержимо, что эти две последовательности строго тождественны друг другу. Эти последовательности несут в себе однозначную, достоверную *классическую* информацию: между всеми метками интервалы времени у каждого наблюдателя одни и те же. Эта информация об интервалах времени определённо является классической, и передана она со сверхсветовой скоростью. Разумеется, все метки возникают случайно, но интервалы между ними строго равны и образовались в один и

тот же момент времени, даже если, наблюдатели движутся относительно друг друга с субсветовой скоростью.

Возникает абсурдная ситуация: два взаимоисключающих результата в одном и том же эксперименте. Мгновенность коллапса волновой функции требует признания синхронности хода часов, а эффекты Лоренца – признания их взаимного отставания для каждого из двух наблюдателей. Разрешение абсурда возможно только при отказе либо от квантово-механической мгновенности коллапса, либо от релятивистского замедления времени. Квантовая механика явно противоречит специальной теории относительности, позволяя производить мгновенную синхронизацию часов вопреки ей. С другой стороны, квантовая нелокальность имеет все видимые атрибуты передачи сигнала: поскольку два удалённых объекта ведут себя *ощутимо* взаимозависимо, причём строго в классическом смысле.

Однако и этот аргумент – не последний в критике нелокальности. Исследуя специальный раздел квантовой физики – квантовую информатику, физики обнаружили интересное решение – возможность квантовой телепортации, передачи состояния частицы со сверхсветовой скоростью или даже мгновенно. Эксперимент подтвердил эти выводы: телепортировать состояние частицы удалось. Но возник вопрос, а что ещё может предсказать квантовая информатика? Очевидным было предположение, что телепортировать можно не только эфемерную квантовую информацию, но и вполне реальную информацию классическую. Действительно, в результате наших вычислений было получено достаточно осмысленное решение, которое позволило спроектировать устройство, названное сверхсветовым семафором. Описание устройства и его принципа действия мы изложили в книге "Границы теории относительности".

Противоречия принципа реинтерпретации

Буквально с момента публикации основ СТО, специальной теории относительности стали появляться и её активные критики, которые раз за разом создавали для неё проблемы в виде мысленных экспериментов. Следует уточнить, что и сама теории в лице её автора приняла в этом участие, поскольку самый первый парадокс создала именно она – парадокс близнецов. Убеждённые сторонники теории столь же активно противостояли всем этим проблемам. Подходов к защите теории, по сути, было два. Первый – это парадоксы типа парадокса близнецов исключались из формализма теории ввиду наличия ускоренного движения, а множество других "парадоксов" просто нарушали положения теории. Второй – проводились многочисленные реальные физические эксперименты или наблюдения, которые явно свидетельствовали в пользу теории.

Однако позднее у теории появились существенно более серьёзные проблемы, о чем мы написали выше, причём создала их не менее серьёзная теория – квантовая механика, в которой обнаружились явления, явно свидетельствующие о сверхсветовой связи между частицами – запутанность. Эта запутанность явно противоречила второму постулату СТО, то есть, формально превращала теорию в ошибочную гипотезу. Попытку спасти теории предприняли Эйнштейн и его сотрудники, предложив решение проблемы запутанности введением так называемых "элементов физической реальности", в дальнейшем именуемых дополнительными переменными или скрытыми параметрами. Но эта попытка не удалась. Джон Белл строго математически показал: никакие дополнительные переменные не способны объяснить сверхсветовую связь частиц. Более того, Ален Аспект в корректных экспериментах показал, что такая связь вовсе не абстрактная теория, а реально

наблюдаемое явление. Более того, команда учёных во главе с Антоном Цайлингером пошла ещё дальше: им удалось *телепортировать* квантовое состояние частицы, то есть, передать его от одной частице к другой минуя промежуточные положения.

Спасение теории обозначилось введением понятия нелокальности, завершившимся провозглашением "мирного сосуществования" специальной теории относительности и квантовой механики. Заявлено, что со сверхсветовой скоростью передаётся *квантовая* информация, а СТО оперирует с информацией *классической*. Действительно, запутанность не позволяет осуществить передачу классической информации, поскольку их состояния возникают в совершенно случайном виде. Тем не менее, передачу любой информации, не используя какого-либо носителя этой информации, невозможно описать, не впадая в мистику. На роль такого носителя, естественно, могла претендовать частица – тахион, столь же загадочная, как и сама нелокальность. Обнаружить частицу до настоящего времени не удалось, но её теоретическому исследованию свои труды посвятили многие физики. Первое, с чего они начали, это объявили тахион лоренц-инвариантной частицей, то есть, распространили на неё все положения специальной теории относительности. Однако сразу же возник целый ряд парадоксов. Главный из них – это парадокс причинности. При сверхсветовом движении парадоксов причинности возникало множество, самый знаменитый из которых – парадокс дедушки. Если некий путешественник отправится в прошлое и убьёт там своего дедушку до своего рождения, то он не должен был родиться. Тогда кто убил дедушку?

Наивным решением подобных парадоксов времени являются параллельные миры. Но такое объяснение явно не соответствовало исходным условиям задачи. Тем не ме-

нее, это не остановило исследований тахионов. Не остановило этих исследований и то, что тахион в специальной теории относительности приобретал весьма экзотические параметры, например, мнимую массу. На абсурдность этого свойства указывали и сами исследователи. В качестве очередного наивного компромисса сошлись на том, что тахиона никто не видел и измерить его параметры невозможно, поэтому его мнимую массу можно отнести к таким ненаблюдаемым параметрам.

Свой вариант спасения специальной теории относительности предложила ещё одна группа исследователей. Физики Maccarrone и Recami сформулировали, как они её назвали, тахионную механику (кинематику), которая продвигается как производная от специальной теории относительности, а то и как расширение специальной относительности, и даже превращение её в "неограниченную теорию относительности". Одним из основных, если не главным принципом, лежащим в её основе, является принцип реинтерпретации или принцип переключения. Заявлено, что принцип позволяет решить парадоксы причинности, возникающие в специальной теории относительности при обращении её на сверхсветовые частицы, тахионы. Однако в конце статьи этих авторов мы обнаруживаем, что для получения желаемого решения в рассмотренной задаче просто изменены её начальные условия: исходный тахион *вручную* просто перемещается во времени в "удобное" место. Это даже не подгонка *решения* под известный ответ, это ещё фундаментальнее. Подгонка исходных *условий* задачи под имеющийся ответ. Естественно, что в таком случае уже нет никакого парадокса, поэтому никакие принципы реинтерпретации и тахионные механики теперь уже и *не нужны*. Тем не менее, парадоксы причинности никуда не исчезли и требовали своего решения. По сути, сверхсве-

товая частица создавала иллюзию того, что её излучение источником происходило после того, как она прибыла к получателю. Это очевидный абсурд, но для него нашли *кажущееся* решение, получившее упомянутое название "принцип реинтерпретации" или в зарубежной литературе – "принцип переключения". На их основе была сформулирована отмеченная выше "тахионная механика". В отечественной литературе вышел даже научный сборник, посвящённый тахионам. В нём принцип реинтерпретации формулировался разными авторами с небольшими различиями, но в целом он имел один и тот же вид. В уточнённом виде формулировку принципа реинтерпретации привёл Барашенков:

"... при любом взаимодействии частица, имеющая отрицательную энергию и движущаяся в конечном (начальном) состоянии реакции обратно во времени, должна интерпретироваться как соответствующая античастица, имеющая положительную энергию и движущаяся вперед во времени в начальном (конечном) состоянии реакции".

На бытовом уровне это можно трактовать на следующем примере. В магазин пришёл покупатель и отдал продавцу *отрицательный* килограмм картофеля. Продавец взамен отдал покупателю несколько *отрицательных* рублей. Однако вечером продавец сдал в кассу вполне положительные деньги, а покупатель пожарил у себя дома вполне положительный картофель. С частицами и античастицами ситуация в точности такая же. Сколько не подвергай их реинтерпретации, а парадокс причинности никуда не исчезнет просто потому, что он *изначально* был при отсутствии мысленных преобразований. Кроме того, при таком движении во времени всегда почему-то упускается из виду: объект, движущийся в прошлое *слева направо*, для

внешнего наблюдателя всё равно виден как движущийся в будущее и точно так же – *слева направо*. Просто представьте: в 10 часов автомобиль был слева, а в 18 часов – справа. Двигаясь обратно во времени, он должен был сначала быть справа – в 18 часов, затем, переместившись в прошлое, в 10 часов, окажется слева. И что поменялось? Для внешнего наблюдателя он как был в 10 часов слева, так там и остался. Соответственно, в 18 часов – справа. Ни в одной из ситуации автомобиль не виден как анти-автомобиль. Очевидно, проблема заключена в этих туманных начальных – конечных состояниях, поскольку неясно, куда, собственно двигалась частица или античастица. Любой объект движется во времени, это для него неизбежно. Но следовало бы более внятно указать, что он движется и в пространстве. Что мы можем сказать о кипятке в стакане: он разогревается или остывает? С точки зрения реинтерпретации – это одно и то же, но в реальном мире верным может быть *только* один из этих процессов.

И вот что важно. Специальная теория относительности выводится из главного уравнения теории – квадрата релятивистского интервала. Его величина берётся со знаком минус, поэтому считается, что он описывает движение времениподобных частиц. Название связано, очевидно, с так называемыми диаграммами Минковского, в которых графики движения таких объектов приближены, находятся ближе к оси времени. Но квадрат релятивистского интервала может иметь и положительное значение. Если проделать все те же преобразования, что и с его отрицательным значением, то мы получим полный набор точно таких же преобразований Лоренца, но... для сверхсветовых частиц. В этом случае никаких парадоксов с тахионами не возникает. Зато теперь они возникают у тардионов, то есть, частиц, движущихся с досветовой скоростью. Поскольку

графики движения тахионов приближаются к оси расстояний, оси пространства, поэтому, видимо, они получили название пространственноподобных. Собственную для тахионов теорию относительности мы рассмотрели в нашей книге "Парадокс близнецов в специальной, общей и тахионной теориях относительности".

Отметим, что сам тахион не является нефизичным объектом. Он намного реалистичней, чем нелокальность, тёмная материя или тёмная энергия. Просто не следует применять к объекту теорию, которая его прямо исключает из своего формализма. В СТО предельно ясно сказано – она рассматривает только *досветовые* движения, только *досветовые* объекты. Нет никакого "мирного сосуществования" между специальной теорией относительности и квантовой механикой. Нелокальность – это всего лишь компромиссная формула, которая, собственно говоря, ничего не объясняет, то есть, явно заслуживает иного названия – "тёмная нелокальность". Однако сам формализм квантовой механики при этом позволяет провести эксперимент по передаче *классической* информации. Если два наблюдателя, удаляющихся друг от друга с субсветовой скоростью, проведут замер состояний длинной последовательности запутанных частиц, то оба получат одну и ту же зафиксированную материально, на бумаге последовательность состояний, символов. Эта последовательность однозначно является классической информацией. Если один из наблюдателей измеряет свою частицу немного раньше, чем второй (с точки зрения внешнего, третьего наблюдателя), то его можно считать *передающим* информацию. Содержание этой информации ему неизвестно, она является случайной последовательностью символов. Но получатель зафиксирует в точности эту же самую последовательность. Информация передана *мгновенно*, итог однозначно проти-

воречит специальной теории относительности. Более того, используя формализм квантовой информатики, который предсказал квантовую телепортацию, мы получили схожий результат. Основанное на нём устройство названо "сверхсветовым семафором". Семафор теперь уже гипотетически позволяет передавать *произвольную* классическую информацию со сверхсветовой скоростью. Экспериментально это решение не проверено, поэтому нет гарантии, что оно верно. Но правильность вычислений сомнений не вызывает.

Рассмотренные парадоксы сверхсветовой коммуникации являются *неотъемлемой* и *неустранимой* особенностью *именно* специальной теории относительности, основанной на инварианте скорости света. Инвариант скорости автоматически делает эту скорость предельной, максимально возможной. Любая скорость, превышающая инвариантную, ведёт к парадоксам. Отсюда следует, что любая теория, опирающаяся на такую "расширенную" специальную относительность, тоже неизбежно получит "машину времени" – движение в прошлое, петли времени с нарушением причинности, и различные мнимые величины вроде отрицательного квадрата массы. Специальная теория относительности неспособна решать задачи с движением со сверхсветовыми скоростями.

Диалектический материализм запрещает любые движения в прошлое. Но это философия, а к ней физики относятся предельно скептически. Но философия – это основа и смысловой итог всех наук. Философия дала всем наукам основной инструмент познания – формальную логику и идущий с нею рука об руку – здравый смысл. Презрительное отношение к здравому смыслу в виде утверждение, что это "не более чем набор предрассудков, приобретённых к 18 годам" – довольно опасный подход. Мы прямо заявляем: не отвергай здравого смысла, иначе он

тебя покинет. Философия, диалектика отвергает любое движение в прошлое – прямой путь даже не к парадоксам, а к противоречиям, к абсурдам. Соответственно, все теории, которые допускают такое движение, являются лженаучными и даже мистическими. Специалисты, которые продвигают, популяризируют такие теории, вводят своих читателей в заблуждение и, следовательно, заслуживают научного осуждения.

Бесконечные ряды и Вселенная

Специальную теорию относительности мы назвали *математической* теорией. Поэтому ей присущи те же проблемы, что и любой другой математической теории или гипотезе. Вместе с тем, сама математика – это наука предельно точная. Поэтому неверными, ошибочными могут быть только выводы, умозаключения математиков. Пожалуй, наиболее популярными, интересными и вместе с тем полными ошибок являются гипотезы Кантора о счётных множествах, по мотивам которых снято немало научно-популярных, документальных фильмов. Известно несколько различных утверждений, но почти все они сводятся к невозможности перенумеровать точки на единичном отрезке, нередко именуемом континуумом. Все следующие далее выкладки в подробностях можно найти, например, в нашей книге "Логика противоречий", а также в статье "Правила счета элементов бесконечного множества" на сайте eLibrary.ru.

Весьма любопытные рассуждения о тождественных бесконечностях встречаются в литературе по космологии. В частности делается явно ошибочный вывод о том, что в бесконечности *часть* может быть равна *целому*. Например, объявляется, что множество натуральных чисел равно-

мощно множествам целых чисел, натуральных четных чисел, всех рациональных чисел, о чём даже снято немало научно-популярных фильмов. Буквально, это означает, что чётных, нечётных и всех целых чисел равное количество. Приводится даже некое "доказательство".

Однако это доказательство логически противоречиво, ошибочно. Ошибка состоит в некорректном способе подсчета. Существует простой способ это проверить. Произведём подсчет другим, правильным способом. Понятно, что пересчитать в прямом смысле бесконечное число элементов невозможно. Но в математике существует строго корректный, доказанный способ подобных расчётов – нахождение предела.

Возьмем ряд всех натуральных чисел и будем их считать самым обычным, привычным способом. Для этого каждое натуральное число будем класть в соответствующий ящик, и при этом называть его значение: один, два, три и так далее. Одновременно, по мере того, как нам будут встречаться эти числа, мы будем с каждым четным числом класть такую же цифру во второй ящик. И, для наглядности, с каждым нечётным – в третий ящик. Через некоторое время посмотрим, что у нас в ящиках? Через тысячу шагов, очевидно, в первом ящике будет 1 000 чисел. Во втором и третьем – по 500. Ну, или в виде соотношения 10:5:5. Продолжим раскладывать числа и вновь проверим содержимое ящиков теперь уже через 10 000 шагов. И в этот раз мы обнаружим, что количества чисел в ящиках соотносятся как 10:5:5. Нужно ли доказывать, что и через миллион, и через миллиард, и через гугл шагов количества чисел в ящиках будут соотноситься как 10:5:5? Теперь, используя математический предельный переход к бесконечности, мы обязаны признать, что и при этом соотношение чисел будет тем же – 10:5:5.

Таким образом, последовательно синхронно пересчитывая количества чисел в натуральном ряду, мы найдём истинное соотношение их количеств. Однако говорить, что бесконечное число всех натуральных чисел больше, чем число всех четных или нечетных чисел не совсем верно. Эти числа образуют бесконечности и правильнее говорить об их мощности:

Бесконечность всех натуральных чисел в два раза мощнее, чем бесконечности всех четных или нечетных чисел и, например, в пять раз мощнее, чем бесконечность всех чисел, кратных пяти.

Есть ещё один, распространённый, но столь же ошибочный метод, который прямо следует назвать методом подтасовки. В натуральном ряду числа меняют местами, перенося, например, чётные в конец ряда. Как считается, мы до этих чисел не дойдём никогда, поэтому оставшихся нечётных чисел, якобы, будет столько же, сколько мы насчитаем натуральных. Только вот остаётся вопрос: а что, перенесённые в конец числа вы пересчитывать не будете? Вызывает удивление, что такой метод всерьёз рассматривают солидные учёные.

В связи с описанными хитростями нумерации часто вспоминают математика Кантора, который якобы доказал, что число точек на отрезке прямой сосчитать никаким способом нельзя. При этом утверждается также, что, наоборот, отрезок числовой прямой находится в биективном соответствии с многомерным евклидовым пространством, то есть, число точек прямой равномощно этим множествам, условно говоря, количества их элементов равны. Он же, Кантор утверждает, что точки на прямой нельзя перенумеровать с помощью бесконечного ряда натуральных чисел,

приписывая каждой из них свой номер, в каком бы порядке мы ни выбирали эти точки. Всегда останется хотя бы одна точка, на которую не хватит номера. Эту ошибочную гипотезу часто именуют "несчетностью континуума". Для подсчёта точек используются хитрые комбинации с нумерацией. Заметим, что здесь у заявителя, у сторонника такой несчётности явно просматривается недостаток не то воображения, не то знаний.

После некоего условного и, между прочим, невозможного в принципе, подсчёта множества всех точек на прямой, на континууме, отождествления их с множеством всех действительных чисел, проделывается специфическая процедура нахождения пропущенного номера. Для континуума, прямой линии принято, что номера точек находятся в диапазоне от нуля до единицы. Каждое действительное число – номер представляется в виде *бесконечной* десятичной дроби, то есть, десятичной дроби от 0 до 1, содержащей бесконечное число знаков после запятой. Сразу же обнаруживаем противоречие: *подсчитанное* множество по определению не может быть *бесконечным*: "Infinitum Actu Non Datur" (Аристотель) «актуальная бесконечность не существует». Принцип утверждает потенциальный, т.е. принципиально *незавершаемый* характер бесконечности множества. Актуальная, то есть, *пересчитанная* бесконечность лишена смысла. Однако все записанные числа при этом могут иметь *бесконечное* число знаков в своих дробных номерах. Следовательно, рассмотренный континуум, количество точек на прямой, континуумом не является. Число точек на таком "континууме" – конечно, и, следовательно, такой подсчёт не имеет никакого отношения к несчётности действительного континуума.

Судя по всему, вопросы бесконечных множеств, их пересчёта в частности, сложны не только для рядовых ма-

тематиков. Иной раз в слабом их понимании можно заподозрить и величайших специалистов в этой области, что можно заметить на примере задачи об "Отеле Гильберта". В этой задаче при отсутствии свободных номеров в отеле всё-таки удаётся заселить нового постояльца независимо от числа номеров в отеле, вплоть до бесконечности. Решение задачи состоит в том, что каждый из постояльцев некоторое время находится вне номера. Буквально, все они живут в номерах по очереди, что явно не соответствует понятию "подселения нового жильца".

Парадокс отеля оказался настолько интересным и показательным, что он получил дальнейшее развитие. Смысл новой задачи об отеле, следует отметить, в точности соответствует задаче о счетности континуума, то есть, заключается в невозможности присвоить номера бесконечному количеству комнат в бесконечном количестве отелей. Следовательно, рассмотренные задачи можно свести к задаче о счетности всех видов чисел, не только натуральных, но и всех мыслимых видов чисел.

Мы разработали новый, особый способ подсчёта чисел, который является универсальным. Например, для континуума, количества точек на единичной прямой мы можем записать все возможные дробные числа. Для этого дробную часть представляем в виде обычного натурального числа, но записанного "задом наперёд". Легко заметить, что такие числа содержат все мыслимые дроби, среди которых окажется, например, дробная часть числа π, причём со всеми мыслимыми количествами знаков после запятой. Соответственно, используя для представления чисел обратный способ Кантора, можно перенумеровать все остальные виды чисел – комплексные, кватернионы и другие составные виды чисел.

Ещё одним абсурдным заявлением, является известное "доказательство" Кантора равной мощности точек в прямом отрезке и квадрате со стороной, равной этому отрезку. На самом деле мощность множества точек квадрата на отрезке имеет более высокий порядок, чем мощность множества точек отрезка. То есть, больше в бесконечное число раз. Есть наглядный и предельно простой способ показать это: нужно отрезок просто наложить на квадрат. Под отрезком окажутся все тождественные ему точки квадрата. Остальные точки квадрата образуют отдельное бесконечное множество точек большей мощности.

Кстати, здесь мы наглядно демонстрируем абсурдность *сравнивания* количества чисел натурального ряда и его части. Методом квадрата мы можем, говоря тавтологией, перенумеровать точки линии и квадрата, даже не формируя для них индексы, и получим при этом равенство их количества. Однако мы только что увидели, что такое равенство противоречиво, а попросту его нет. Следовательно, сравнивание количества членов множеств путем их "слепого" пересчитывания – это в общем случае опасный, ошибочный, некорректный метод, позволяющий получить любой желаемый результат, и которым следует пользоваться предельно продуманно.

Придирчивый читатель может увидеть в этом заявлении противоречие с тем, что мы же заявили ранее относительно пересчёта тех же самых членов множеств. Но мы укажем на два момента в данном "противоречивом" тексте: противоречие возникает "в общем случае" и пересчитывать следует "предельно продуманно".

Задача Гамова о поиске пиратского клада

Следует отметить, что к противоречиям ведут не только манипуляции с бесконечностями и способами их пересчёта. Одной из причин ошибочных выводов является неверная трактовка формализма используемой теории и даже базовых положений самой математики. Как правило, учебные задачи в математике формируются в виде небольших историй, рассказов. Простейшие из них имеют вид типа "два землекопа рыли яму". Более сложные представлены в виде более осмысленного рассказа, истории. При этом простые задачи, например, связанные с геометрическими построениями, нередко формулируются таким образом, что изначально содержат в себе, если не решение, то завуалированную подсказку, сразу же ведущую к решению. Примером такой истории является рассказ о поиске на острове пиратского клада, который имеет такие подсказки, незаметные лишь при поверхностном взгляде. Нас интересует только решение и эти подсказки, поэтому сам рассказ приведём в кратком виде.

"На острове в море пираты закопали клад. Для того чтобы впоследствии найти клад, они в качестве ориентиров заметили две горы и дерево. Записка с описанием порядка поиска клада гласила:

От дерева идите к первой горе и считайте шаги. Дойдя до неё, поверните под прямым углом налево, сделайте такое же количество шагов и воткните в землю палку. Вернитесь к дереву и идите ко второй горе, считая шаги. Поверните под прямым углом направо и сделайте такое же количество шагов. Воткните в землю другую палку. Клад будет точно посередине между двумя палками".

Однако те, кто оказался на острове и прочитал записку, дерева не обнаружили. Тем не менее, клад найти они сумели. Дело в том, что задача изначально имела две скрытые подсказки. Первая: поскольку клад был найден, наличие дерева для поиска не требовалось изначально. Вторая: следовательно, дерево могло находиться в любой точке острова. Исходя из этого, искателям было достаточно самостоятельно установить исчезнувшее дерево в *любой*, удобной точке. Очевидно, самыми удобными точками являются три: две горы и точка посередине между ними. Согласно подсказкам в каждом из этих вариантов клад должен оказаться в одном и том же месте. И это действительно так. Рассмотрим эти варианты.

Сначала дерево условно поставим рядом с первой, правой горой. Тогда шагами искатели построят прямоугольный треугольник, гипотенуза которого соединит вторую палку и первую, правую гору. Место клада, согласно свойствам треугольника, будет находиться вертикально над серединой отрезка между горами на расстоянии, равном половине расстояния между горами.

Теперь поставим дерево рядом со второй, левой горой. Теперь искатели построят шагами прямоугольный треугольник, гипотенуза которого соединит вторую палку и вторую, левую гору. Место клада также будет находиться вертикально над серединой отрезка между горами, над нижним катетом прямоугольного треугольника, точно на таком же расстоянии, равном половине расстояниям между горами. Эта новая точка, как видим, совпала с точкой из первого варианта.

Наконец, поставим дерево точно посередине между гор. Теперь искатели построят шагами два прямоугольных треугольника. Проведя через их вершины с палками линию, искатели построят в итоге прямоугольник высотой,

равной половине расстояниям между горами. Середина верхней стороны прямоугольника находится точно над серединой между горами, то есть, и в этом случае точка с кладом, совпала с точкой из двух первых вариантов. Решение, как видим, является простым логическим и использует элементарную геометрию. Оно не требует ни математики мнимых величин, ни использования компьютерных моделей в интернете, неявно содержащих решение задачи.

Отметим, что есть ещё две специфические точки для исчезнувшего дерева. Это точка в месте нахождения клада и точка, зеркальная этому месту, относительно линии, соединяющей горы. При использовании этих начальных точек обе палки будут воткнуты в одно и то же место – в точку нахождения клада.

Помимо рассмотренного описания в интернете эта задача была показана в научно-популярном фильме "Числа" в целях демонстрации, как можно использовать мнимую единицу, квадратный корень из отрицательного числа, из единицы со знаком минус, так называемые воображаемые числа. Однако дикторский текст в фильме явно не соответствует изображаемым картинам. В этой кино – версии задачи, в отличие от рассмотренной выше, рассматривались не две горы и дерево, а два дерева и виселица. Осмысленное описание закончилось после того, как деревьям присвоили координаты плюс и минус единица. Выбрана произвольная точка плоскости, которую предложено считать виселицей. В приведённом выше описании задачи мы использовали этот же приём, объявив это одной из двух подсказок. Но далее в версии фильма этой точке без комментариев присвоена координата в виде комплексного числа: a+bi. Процедура "дойти до дерева и повернуть" с последующей установкой флажка выполнена точно таким же образом. Итоговая картина приведена на рисунке

рис.8.1. Ранее в фильме было отмечено, что поворот линии вокруг начала координат тождественен умножению координаты её конца на мнимую единицу, воображаемое число. В зависимости от знака мнимой единицы, поворот линии происходит либо по часовой, либо против часовой стрелки. Какое именно число умножалось на мнимую единицу, в фильме не указывается. Вместо этого сразу же делается вывод: если мы сложим эти числа и разделим на 2, останется только i. Но о каких "этих" числах идёт речь? На рисунке мы видим только разметку осей и единственную координату a+bi. Очевидно, что полусумма всех *этих* чисел явно не приведёт к указанному остатку. Однако мы догадываемся, каким именно должно быть описание процесса.

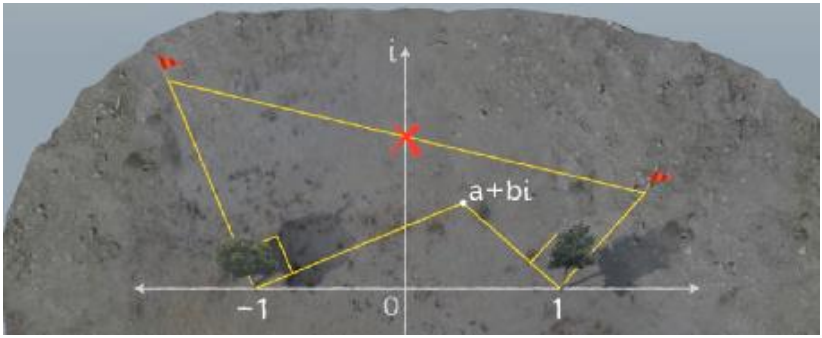

Рис.8.1. Поиск клада на острове

Во-первых, напомним, что вращение линии при умножении на мнимую единицу происходит вокруг начала координат. Здесь же линии вращаются вокруг координат -1 и +1. Если мы умножим исходное число, исходную координату виселицы a+bi, то она точно сместится не в те координаты флажков, которые мы ожидаем.

Для вращения координаты виселицы вокруг каждого из деревьев, необходимо её преобразовать в новые системы координат, начала которых совпадают с каждым из деревьев. Эти преобразования ничем не отличаются от та-

ких же преобразований в декартовых координатах с обычными вещественными осями. То есть, ось i полностью соответствует, эквивалентна обычной оси y, при этом координатное воображаемое число a+bi будет иметь декартов вид (a, b), где, согласно принятым обозначения величина a – это x-координата виселицы, а величина b – это её y-координата. В смещённых координатах координата виселицы, исходное воображаемое число получает новые обозначения. Когда за начало координат принимается координата левого дерева, то есть, ему присваивается нулевая координата, исходная координата виселицы будет иметь вид

$$a+bi+1=(a+1)+bi$$

Это же число в координатах правого дерева, справа

$$a+bi-1=(a-1)+bi$$

Мы просто сместили исходное начало координат сначала в точку -1, затем в точку +1. Теперь традиционным преобразованием для воображаемых, комплексных чисел находим новые координаты, координаты флажков. Поворот исходной координаты осуществляем аналитически – умножением на плюс или минус мнимую единицу. Поскольку мы сместили начало координат в новые центры, то и вращение при этом автоматически происходит именно вокруг этих новых начал координат. Координату левого флажка находим умножением соответствующей координаты на плюс i, поскольку вращение должно быть произведено против часовой стрелки. Координата левого флажка в воображаемых числах равна

$$(a+1+bi)\times i=(a+1)i-b$$

Координату правого флажка находим умножением на минус i, поскольку в этом случае вращение должно производиться по часовой стрелке

$$(a-1+bi)\times(-i)=(1-a)i+b$$

Теперь уточним заключительное утверждение в фильме. Координатой клада является полу-сумма только *этих* двух координат, координат флажков

$$\frac{(1-a)i+b+(a+1)i-b}{2}=\frac{i-ai+b+ai+i-b}{2}=\frac{2i}{2}=i$$

Действительно, осталась только i. Отметим, что тем самым подтверждена подсказка о том, что виселица могла находиться в любой точке острова. Поскольку исчезли и a и b – от них решение не зависит, то есть, координаты виселицы могут быть произвольными. Однако отметим одну неточность. Координаты флажков описаны в своих собственных системах координат. Это не координаты точек в исходной системе координат, в которой задана исходная координата a+bi, координата виселицы. Итог же мы провозгласили именно в этой исходной системе. Правильно было бы сначала сместить координаты флажков в эту исходную систему. Для этого к координате правого флажка мы должны прибавить единицу, а от координаты левого – отнять единицу. Но в этом случае, как легко заметить, итог останется прежним.

Наши рассуждения на первый взгляд не имеют прямого отношения к специальной теории относительности. Это верно отчасти. Рассказ – задачу и её решение мы призвали показать способность математики, геометрии, лежащих также и в основе математической специальной теории относительности, способность вводить исследователя в заблуждение зачастую в довольно простых ситуациях.

Проблема пятого постулата Евклида

Ещё одна фундаментальная математическая проблема, ничуть не уступающая по сложности проблемам специальной теории относительности и проблемам пере-

счёта элементов бесконечных множеств – это проблема пятого постулата, пятой аксиомы Евклида. На протяжении двух тысячелетий эту проблему не смог решить ни один математик. Отметим, что, по мнению Рашевского, в наше время решить проблему V постулат пытаются только малообразованные дилетанты. Доказательство, решение предполагалось найти примерно в следующем виде:

Постулат V Евклида в эквивалентной формулировке "В плоскости через точку, не лежащую на данной прямой, можно провести одну и только одну прямую, параллельную данной" является следствием постулатов I-IV Евклида (но не аксиом Гильберта).

Другими словами, вопреки устоявшемуся мнению, в пространстве Евклида пятый постулат является следствием первых четырёх постулатов Евклида. Геометрия Евклида – это исходная, первичная геометрия гладкого недеформированного пространства. Только в ней существует действительно *прямая* и действительно *плоскость*. Пространство Евклида можно исказить, *деформировать* и получить геометрии Лобачевского и Римана – геометрии на искривлённых евклидовых плоскостях, на которых и только на них пятый постулат является *независимым*. Очевидно, эти *независимые* постулаты не имеют никакого отношения к пятой аксиоме, постулату Евклида.

На протяжении столетий многие математики пытались доказать этот постулат, исходя из предыдущих, пытались доказать, что он – лишний, то есть может быть доказан как теорема на основании остальных постулатов. Помимо этого, аксиоматика Евклида была признана довольно слабой, поэтому многими математиками предпринимались попытки её улучшения. Первую новую систему аксиом евклидовой геометрии разработал Гильберт. Система считается достаточно строгой и более полной аксиоматикой,

нежели система аксиом Евклида. После создания этой системы доказательство пятого постулата Евклида как теоремы делалось уже не на основе его постулатов, а на основе аксиом Гильберта.

Считается, что окончательно проблема V постулата была решена Лобачевским, его геометрией для пространств с отрицательной кривизной. Другим отрицанием зависимости пятого постулата Евклида стала геометрия сферических (эллиптических) пространств Римана. Казалось бы, проблема решена. Однако до настоящего времени никто не обратил внимания на важное обстоятельство. Из геометрий Лобачевского и Римана, из аксиом Гильберта *исключена* третья аксиома Евклида, она отсутствует среди них, поэтому никак не может влиять на формирование последующих аксиом. То есть, пятая аксиома Евклида не может быть выведена из них, и "явиться следствием аксиом I – IV Евклида", поскольку одна из аксиом отсутствует, а наследовать от того, чего нет, и никогда не было, невозможно. Ни в одной из 20-ти аксиом Гильберта не удалось найти третьей аксиомы Евклида или её эквивалента даже в косвенной формулировке. Только в "оригинальной" геометрии Евклида соблюдаются все эти условия – наличие всех четырёх предыдущих постулатов, аксиом. Иначе говоря, пятый постулат в приведённой выше формулировке действителен только при наличии этих четырёх постулатов. А это и означает зависимость от них.

Более подробно обнаруженные противоречия описаны в нашей статье "К проблеме пятой аксиомы Евклида" размещённой на сайте научной электронной библиотеки eLibrary.ru, в разделе журнала "Фрактал", а также на некоторых других сайтах.

Противоречия параллельного переноса

Следует отметить, что как в специальной теории относительности, так и в других математических теоремах одной из проблем, ведущих к неверным выводам, является простая *подмена понятий*, изменение смысла некоторого важного понятия. В специальной теории относительности наиболее известной такой подменой, причём грубой, является расширение области применимости второго постулата. Ведь явно и однозначно заявлено: скорость света является *предельной* скоростью движения или передачи информации. Эта подмена явная. Но есть и завуалированные. В парадоксе близнецов, например, равноправие ИСО негласно нарушается. Две системы отсчёта равноправны лишь на первый взгляд, поскольку дистанция для путешественника привязана только к одной из них, неподвижной. При восстановлении равноправия парадокс получает совершенно иное решение.

Не менее грубая подмена понятий присутствует в теории гравитации, в общей теории относительности в таком явлении, как *параллельный* перенос вектора, позволяющем определить кривизну пространства. Параллельным называют перенос в пространстве, в котором параллельность отсутствует по определению. В ряде источников, учебников, рассматривающих вопрос определения неким условным внутренним, *двухмерным* наблюдателем кривизны собственного пространства, можно встретить утверждение, что он способен сделать это без привлечения понятия пространства большей размерности, так называемого пространства погружения. В качестве одного из способов такого определения кривизны изнутри чаще всего рассматривается явление поворота, изменение направления

вектора при его *параллельном* переносе по замкнутому контуру. Обратим внимание на то, что и название процедуры переноса и её описание содержат слово "параллельный". Однако в искривлённом пространстве такого понятия не существует по определению. В искривлённом пространстве нет и быть не может параллелей, параллельных прямых в традиционном, евклидовом смысле этих понятий. Впрочем, как и в любом другом смысле: нет такого определения параллельности. Следовательно, никакой перенос вектора не может быть *параллельным*. Из этого прямо следует: *параллельный* перенос вектора в рамках пространства не может служить индикатором кривизны пространства, в частности, на поверхности сферы. Это справедливо в отношении любой искривленной поверхности.

В общем случае определение, выявление *искривлённости* поверхности без использования понятия погружения является неоправданно сложной процедурой, имеющей целый ряд недостатков и обязательных оговорок. Такой некорректно названный перенос можно столь же некорректно использовать лишь как демонстрацию, как геометрическое *следствие* одного из свойств искривлённого пространства, но никак не для его диагностики, тестирования. Вместе с тем, следует отметить, что противоречие в определении параллельности в значительной степени является терминологическим, то есть, действительно, при переносе вектора в искривлённом пространстве в *общем* случае, с особыми оговорками, происходит его изменение, поворот. Кроме того, в описаниях подобных переносов нередко присутствуют теперь уже определённо логические противоречия. Например, при описании переноса вектора, лежащего в плоскости, касательной к искривлённой поверхности. Такой перенос может свидетельствовать только об искривлении пространства *погружения*, то есть, про-

странства, в котором находятся как искривлённая поверхность, так и касательная плоскость с вектором. Такой касательный вектор не принадлежит искривлённому пространству и имеет с ним только одну общую точку – начало вектора. Параллельный перенос касательного вектора в пространстве погружения Евклида, чаще всего используемого в таких описаниях, всегда сохраняет своё направление.

Исследование кривизны пространства возможно с использованием вместо некорректного *параллельного* перемещения другого, так называемого *эквиуглового* перемещения вектора, то есть, его перемещения с сохранением угла относительно линии переноса. При этом линией переноса обязательно должна быть *геодезическая*. Геодезические в любых пространствах – это линии *наименьших* расстояний, считающиеся в этих пространствах *прямыми* линиями, но в искривлённых пространствах на самом деле являющиеся линиями *кривыми*. Попытки ввести понятие *прямой* линии на искривлённой поверхности неизбежно ведёт буквально к рекурсии: определению параметра через сам определяемый параметр. Кроме этого, переносимый вектор на искривлённой поверхности должен изображаться в пространстве погружения *визуально* кривым отрезком, дугой, линией. Касательный вектор при этом *обязан* сливаться с геодезической, по которой он переносится. Если такая линия переноса замкнута и не имеет излома, то вектор вернётся в исходную точку без поворота и точно совпадёт со своим исходным направлением. Если геодезическая переноса составная, то есть, имеет излом, то вектор изменит своё направление на величину угла в точке излома, угла между состыкованными геодезическими.

Использование для переноса вектора *произвольной*, не геодезической линии, в том числе, образованной путём аппроксимации этой произвольной линии бесконечно ма-

лыми отрезками геодезических, приводит к невозможности визуализации ни параллельного, ни эквиуглового переноса, то есть, его графического изображения. Эквиугловой перенос вектора по произвольной замкнутой траектории или по разным путям может привести к изменению его направления в любом пространстве, в том числе и на плоскости Евклида.

Важным и даже решающим *правильным* обстоятельством является следующее: перенос вектора *обязательно* должен производиться по геодезической и *обязательно* с сохранением угла между вектором и этой геодезической. Называть такой перенос параллельным неверно. Более того, даже сами геодезические вообще никогда и нигде параллельными не были. К слову заметим, что отсутствие понятия параллельности в искривлённом пространстве означает также отсутствие параллельности даже между его координатными линиями.

Пожалуй, наиболее странным и удивительным следствием из этого следует признать утверждение о принципиальной *невозможности* сравнивания векторов, что можно буквально трактовать как бессмысленность вообще каких-либо переносов векторов в пространстве без их *деформации*. Исходя из этого ошибочного утверждения, некоторые исследователи переноса вектора заявляют, что галактики не удаляются от нас. Обоснованием этого "очевидного парадокса" рецессии явилось якобы отсутствие четкого определения понятие их скорости по отношению к нам. Это заявление ошибочно: никакого парадокса нет. В среде космологов, астрономов определение понятия скорости удаления галактик по отношению к нам является чётким, определённым и в пределах доступной точности – однозначным. Все эти скорости, по сути, замеряются вдоль

геодезических, линий света, то есть, можно сказать, что в любом режиме переноса сохраняются в неизменном виде.

Сингулярность Черной дыры

Одним из самых удивительных и загадочных физических объектов в общей теории относительности является сингулярность. Однако её реальное существование до сих пор ставится под сомнение. Едва ли не в наибольшей степени свою популярность теория относительности получила благодаря именно предсказанию сингулярностей. Достаточно сказать, что с нею связано само происхождение нашей Вселенной, всего Бытия, в том числе возникновение пространства и времени. "Сингулярность" переводится как "единственный, особенный" и в физике обозначает особенные состояния пространства-времени.

Самой первой сингулярностью следует считать космологическую сингулярность – состояние Вселенной в начальный момент Большого взрыва, характеризующееся бесконечной плотностью и температурой вещества. Космологическая сингулярность по описаниям в физической и философской литературе даёт основания присвоить ей ещё и титул "божественная сущность". Действительно, обычное описание Большого взрыва можно сформулировать кратко: Вселенная возникла "Нигде, Никогда, из Ничего". Тем не менее, такое иррациональное происхождение Вселенной вопреки даже мнению его сторонников в современной физике всё-таки сводится к наличию чего-то неопределённого "до сингулярного". Это либо некие инфлатонные поля, либо скалярные поля иного содержания, либо пульсирующие Вселенные, то возникающие из сингулярностей, то вновь в них проваливающиеся.

Не менее загадочно обстоят дела и с гравитационной сингулярностью. Считается, что в Черных дырах имеется гравитационная сингулярность, которая не может быть описана никакими известными нам законами физики. Наблюдать сингулярности непосредственно невозможно, при нынешнем уровне развития физики они являются лишь теоретическим построением. Такие сингулярности менее фундаментальны, чем космологическая сингулярность, и считается, что они присущи конкретным объектам во Вселенной – Черным дырам. В отношении таких сингулярностей ведущие физики довольно единодушны: они признают нефизичность этого понятия. Речь идёт, конечно же, в первую очередь об общей теории относительности, которая математически предсказывает существование Черных дыр и сингулярностей в них.

И действительно, сингулярность для общей теории относительности и для физики в целом является серьёзной неприятностью. Нет не только более или менее приемлемой теории явления, но оно самим фактом своего существования противоречит всем известным законам физики. Математические определения сингулярности в физической литературе встречаются достаточно часто. Но крайне сложно найти объяснение её *физической* сущности.

Согласно вычислениям, слишком массивное ядро звезды будет коллапсировать, сжиматься, пока не достигнет сингулярности с нулевым радиусом. Мы не рассматриваем новые модели Чёрных дыр – кварковые черные дыры, странную материю, считая их чрезмерно удалёнными от осмысленной физики и имеющими довольно скудное описание в литературе.

Само по себе использование сингулярности как элемента для вычислений, по сути, не должна приводить ни к каким парадоксам. Это, несомненно, удобное понятие.

Но реального физического воплощения она, судя по всему, иметь не обязана. Действительно, о сингулярности только-то и известно, что это бесконечно малая по размерам точка, имеющая бесконечно большую плотность материи в ней, которая обрывает мировые линии. Пожалуй, единственным её выдающимся и реально наблюдаемым свойством является горизонт событий, затягивающий под себя всё, что его коснётся.

Но способна ли гравитация сжать нейтроны в ядро меньшего диаметра, чем создаваемое силами сильного ядерного взаимодействия, которые по величине превосходят гравитацию в 10^{38} раз? Возникает крамольный вопрос: а, может быть, сингулярности-то и нет? Может быть, при уходе нейтронной звезды под горизонт, она под действием ядерных сил просто образует новый, специфический элемент периодической системы Менделеева с громадным атомным (порядковым) номером?

При достижении гравитационного предела, звезда становится "невидимой". Следовательно, поверхность звезды однозначно должна быть под горизонтом. Если перед началом коллапса звезда имела существенно больший размер, чем шар с гравитационным радиусом, радиусом горизонта событий, то сжатие вещества звезды происходит эволюционно, плавно. И напротив, если радиус звезды перед самым началом коллапса меньше гравитационного, то нет никаких веских оснований утверждать, что звезда вдруг резко, почти мгновенно уменьшила свой радиус. Резонно считать, что в момент коллапса радиус звезды и её гравитационный радиус тождественно равны.

По современным данным нижний предел массы черной дыры лежит в пределах 2,5 – 3 солнечных масс, а из известных черных дыр самая маломассивная имеет массу около четырёх солнечных масс. Чтобы выяснить, могут

ли нейтроны звезды с такой общей предельно малой массой в 2,5 солнечных "поместиться" в пределах её горизонта событий, гравитационного радиуса, мы сравнили их объёмы. Если это невозможно, то у сингулярности, следовательно, есть веские основания, она становится буквально наблюдаемым явлением. Если же общий объём нейтронов окажется меньше объёма сферы с гравитационным радиусом, то принципиальных оснований привлекать сингулярность не будет. Нейтронная звезда просто увеличила свой гравитационный радиус, радиус горизонта событий за пределы своей физической поверхности. Нет никакого смысла утверждать, что нейтронное вещество стало сжиматься к центру, "падать на сингулярность". Даже при дальнейшем неограниченном росте массы звезды нет веских оснований "давать" нейтронам такую способность уплотнения до бесконечности. Горизонт прячет от внешнего наблюдателя тело звезды и представления о сингулярности с бесконечно малым, даже нулевым радиусом выглядят довольно мистически.

Действительно, сможет ли сила гравитационного притяжения нейтронов на поверхности звезды преодолеть силу их же ядерного отталкивания друг от друга? Поместятся ли нейтроны звезды в момент коллапса под её гравитационным радиусом? Для ответа на эти вопросы мы вычислили объём выбранной предельной нейтронной звезды на грани её коллапса, перехода в состояние черной дыры, исходя из известных, хотя и приблизительных данных. Итоги вычислений показали, что масса такой звезды равна конкретной величине – 2,34 масс солнца. При такой величине массы нейтронной звезды происходит коллапс или её исчезновение под горизонтом событий. Собственно, коллапс в нашей модели понятие номинальное. При такой массе звезды её радиус становится равным радиусу гори-

зонта событий. Никаких иных физических процессов при этом не происходит. Момент коллапса является, по сути, ничем не примечательным событием в жизни нейтронной звезды. Нейтроны при коллапсе нейтронной звезды в черную дыру лишь ненамного плотнее "смыкают ряды". При этом дальнейший рост массы Черной дыры за счет поглощения внешнего вещества не приведёт к увеличению её радиуса настолько, что она "выглянет" из-под горизонта: гравитационный радиус растёт быстрее, чем радиус нейтронной звезды внутри горизонта событий.

Всё время сразу после коллапса сила гравитационного сдавливания нейтронов по-прежнему будет меньше сил их ядерного отталкивания. В свою очередь, всё это означает, что представления о сингулярности, как и предполагалось, чрезмерны, плохо обоснованы. То есть, возникновение сингулярности в этом случае имеет довольно слабое основание. При этом можно заметить, что плотность нейтронной звезды на этом этапе не достигает даже плотности атомного ядра. Силы гравитационного притяжения нейтронов звездой на много порядков не хватает даже для того, чтобы они вступили в сильное ядерное взаимодействие, то есть, образовали бы в действительности огромное атомное ядро. "Перепрыгивание" в сингулярное падение, минуя состояния атомного ядра, выглядит как довольно-таки фантастический вариант. Но это "перепрыгивание", как утверждает гипотеза сингулярности, происходит чуть ли не одномоментно. Только что, до коллапса нейтроны на поверхности притягивались к центру звезды с относительно малой силой гравитации, и тут же, в одно мгновение притяжение возросло не просто в 10^{38} раз, а многократно больше. Сжатие до сингулярного состояния следует лишь из единственного, не очень убедительного предположения, что "жесткие" нейтроны с некоторым

определённым радиусом невероятным образом превратились в пылинки бесконечно малого объёма и с массой нейтрона, но с некоторой упругой сферической оболочкой, оказывающей при коллапсе крайне слабое противодействие гравитационному сдавливанию, превратились в так называемый вырожденный фермионный газ. Возникает весьма странная картина: крошечная сила гравитационного притяжения преодолевает намного превосходящие её силы ядерного взаимодействия. Нейтроны в атомном ядре притягиваются с огромной силой, но стоило появиться крошечному гравитационному усилию, как нейтроны сразу же превратились в эфемерный фермионный газ. Можно ли представить себе картину, когда на двух сцепившихся тяжеловесов, борцов сумо подул легкий ветерок и, что называется, "смял их в лепёшку"? Но для нейтронной звезды утверждается именно такая картина. Сжатие в сингулярность происходит потому, что "твердые как камень" нейтроны вдруг превратились в вырожденный фермионный газ, не способный оказать сопротивление даже ничтожно малому собственному гравитационному сжатию. Нуклоны в атомном ядре могут притягиваться с силой в 10^{38} раз превосходящей силу гравитации. Мы вычислили соотношение между силой гравитационного притяжения единичного нейтрона в верхнем слое звезды и силу сильного ядерного взаимодействия, и получили значения, соответственно, 10^{-14} и 10^{21} кг. То есть, нуклоны в атомном ядре притягиваются с силой сильного ядерного взаимодействия, на много порядков большей, чем сила гравитационного притяжения. Как видим, сингулярность базируется на очень зыбком фундаменте. На самом деле для образования горизонта событий Черной дыры в ней нет никакой необходимости.

Гипотеза о вырожденном фермионном газе выглядит довольно странно. В ней просматривается модель, в которой каждый элемент газа – молекула или пылинка – имеют массу, сосредоточенную в массивном ядре нулевого объёма, и окружены упругой сферой, которая, собственно, и создаёт давление при сжатии. Сингулярность, возникающая на таком зыбком фундаменте, не может рассматриваться как физическая реальность. Напротив, есть вполне логичная модель, по которой внутри черной дыры объём вещества не стремится к нулю, поэтому и плотность его также не является бесконечно большой. Давления плотно сжатого вещества, а это, очевидно, уже не вырожденный фермионный газ, вполне достаточно, чтобы удержать его от дальнейшего сжатия. То есть, можно использовать обычные физические законы для описания этого вещества.

Обычный, нормальный объём нейтронов, даже не сжатых до плотности атомного ядра, создаёт тот же самый эффект горизонта. Аллегорически можно описать этот процесс как погружение подводной лодки, для которой поверхность воды является своеобразным горизонтом событий. Понятно, что подлодка не схлопывается и не падает в сингулярность. В любой момент она может всплыть. Точно так же и нейтронная звезда погружается под поверхность своего "океана" – горизонта событий.

Этот процесс коллапса, погружения "подлодки – нейтронной звезды" под горизонт событий мы изобразили в виде анимации на сайте Самиздата в статье "Нужна ли сингулярность черной дыре и общей теории относительности?" Если процесс испарения Чёрной дыры реален, то однажды горизонт уменьшится до своего минимального значения и "выпаренная" нейтронная звезда "всплывёт" над ним в своём первозданном виде. В этой модели сингулярность является лишней сущностью.

Однако один вопрос всё-таки остался нерешённым. При рассмотренных параметрах нейтронной звезды и её порождения – Черной дыры – возникновение сингулярности и схлопывание нейтронной звезды выглядят слабо обоснованными гипотезами. А существуют ли иные параметры, при которых сингулярность всё-таки возникнет?

Очевидно, для того, чтобы сингулярность всё-таки возникла, необходимо, чтобы сила притяжения каждого нейтрона на *поверхности* нейтронной звезды, как минимум, превысила силу сильного ядерного взаимодействия. Это не обязательное, а лишь минимальное условие. Из этого условия можно вычислить радиус "исходной нейтронной звезды" до сжатия в сингулярность, своеобразного "атомного ядра" Черной дыры, при котором силы гравитации наконец-то смогут сокрушить сопротивление нейтронов. В результате вычислений радиус оказался равным примерно 10^{38} метров или 10^{22} световых лет. Поясним, что это не гравитационный радиус, не радиус горизонта событий, это радиус нейтронного ядра, вещества Чёрной дыры, нейтронного шара.

Сразу же возникает вопрос, насколько вероятно увеличение внутренней нейтронной звезды в Черной дыре до таких размеров, если предположительный радиус наблюдаемой Вселенной меньше и составляет примерно 10^{11} световых лет. Если оценить для справки массу полученной Черной дыры, она должна быть равна 10^{108} кг, а гравитационный радиус такой Черной дыры будет равен 10^{81} метров или 10^{65} световых лет. Такой результат выглядит весьма нереалистично. Хотя никаким физическим законам он не противоречит, представить такую Черную дыру попросту невозможно. Ведь даже согласно стандартной инфляционной модели теории Большого взрыва, полная масса вещества перед рождением Вселенной должна была

превосходить всего лишь 10^{50} т, то есть в 10^{55} раз меньше, а размеры её на много порядков превосходят радиус наблюдаемой Вселенной. На горизонте событий такой Черной дыры вес гири массой в 1 кг будет меньше веса электрона – порядка 10^{-66} кГ. Очевидно, что выйти из-под горизонта такой Черной дыры не представляет труда, но любому звездолёту на это без преувеличения потребуется вечность. Луч света без проблем преодолеет этот горизонт событий и уйдёт на бесконечность. Кроме этих проблем возникает еще один вопрос, какие ещё процессы будут происходить при образовании такой Чёрной дыры. Новый Большой взрыв?

Черные дыры не испаряются?

Следует признать, что неверные трактовки положений специальной теории относительности, допускаемые практически всеми учёными и подвергнутые критике в нашей работе, уникальными не являются. В основу специальной теории относительности, СТО положен довольно простой и доступный воображению и пониманию принципы – инвариантность скорости света и равноправие всех инерциальных систем. Все парадоксы возникают в результате либо откровенного, либо неявного нарушения этих принципов. Напротив, в основе теории гравитации, общей теории относительности лежат заметно более сложные принципы. Мы можем легко представить себе подводные океанические течения. Однако как представить и осмысленно описать *кривизну* океана? Помимо теории относительности в научном сообществе идут не менее авторитетные интеллектуальные битвы, назовём их так, и по многим другим научным направлениям. В этой связи уместно при-

вести едкое высказывание Сасскинда. В одной из своих книг он заявил:

"Время от времени появляются научные статьи, утверждающие, что черные дыры не испаряются. Но такие статьи быстро теряются в огромной мусорной куче маргинальных идей".

Следует отметить, что подобные и, заметим, спорные заявления – не редкость. Авторитет научных... скажем так, с некоторым пафосом, *правителей* или даже научных *небожителей* нередко директивно, авторитарно подавляет любое инакомыслие. Вообще говоря, это не удивительно. Восседая на вершине научного Олимпа, мало кто захочет отказаться от своих взглядов, признать их ошибочность.

Для справки: В общем смысле подразумеваемый автор *маргинальной* идеи, маргинал – это человек волей или неволей вышедший за рамки установленных правил. Интересно, что одним из синонимов этого слова является изгой, а антонимом, противопоставлением – консерватор. Кроме того, понятием, выражающим частную сущность по отношению к другому, более общему понятию, гипонимом, в частности, являются отщепенец, отверженный. Отметим, что одним из авторов таких явно не названных маргинальных идей, противником испарения черных дыр, несомненно, является Белинский.

Можно отметить, что идея Хокинга об испарении Чёрных дыр, хотя и получила дальнейшее теоретическое развитие в трудах ряда теоретиков, положительно воспринята была всё-таки далеко не всеми физиками. Правда, в большинстве случаев отрицался не сам факт испарения Чёрных дыр, а корректность обоснования этого процесса. Критики гипотезы (Белинский и другие) утверждают, что даже если испарение и существует, представленные доказательства его существования не являются достаточным

обоснованием этого процесса. В частности, согласно заявлениям Белинского, он противник не собственно испарения, а противник предоставленных доказательств такого испарения. Аргументы Белинского, отвергающие доказанность механизма испарения Черных дыр, связаны с циклом его работ, в которых, в частности, утверждается, что:

"... тот факт, что один из выводов эффекта неверен, не опровергает его существования".

Детали его выводов здесь для нас особого интереса не представляют, поэтому следующую цитату из его работы приводим просто для справки

"Здесь показано, что нет возможности образования частиц путем квантового туннелирования через бесконечно малую окрестность горизонта черной дыры. ... мы также подтверждаем менее тривиальное утверждение о том, что никакое создание частиц квантовым туннелированием через горизонт черной дыры невозможно независимо от размера предполагаемой туннелирующей области. ... квазиклассическое туннелирование в пространстве-времени черной дыры... на самом деле не работает".

Конечно, Белинский не единственный, не принявший такие доказательства испарения. Например, Rabinowitz отмечает:

"Многие авторитетные ученые сомневались в правильности модели Хокинга (1974, 1975) вскоре после ее введения. Белинский (1995) не единственный, кто подвергает сомнению существование излучения Хокинга в последнее время".

Однако, что называется, "досталось на орехи" Белинскому побольше, чем другим. Одна из групп авторов в ответ на его критику высказалась в стиле, весьма далёком от научной полемики

"К сожалению, есть крошечное, но крикливое меньшинство, которое вообще не верит в такое туннелирование, а вместо этого полагает, что оно уже опровергнуто...".

Но, если вспомнить классическое "а судьи кто", то можно обнаружить довольно интересные факты. Те же авторы, что подвергли яростной критике Белинского, сделали такие же нападки на ещё одного автора, Pizzi. Однако в ответ на критику получили от него предельно убедительное опровержение:

"Я отвечаю на четыре вопроса, поднятые... против моего комментария... к их предыдущей статье. Я сохраняю свою позицию по поводу неправильности их работы, сообщая также о другой ошибке ... Нигде в моих работах я не сказал, что само излучение Хокинга "является мифом" или чем-то эквивалентным. Я просто сказал, что это не может быть объяснено способом, предложенным в статьях ... потому что эти статьи ошибочны".

Заметим, что в этом ответе и в упомянутом предыдущем ответе этого же автора, рассмотрены конкретные ошибки этой группы "судей", что является примером корректной, а не эмоциональной критики. Поскольку ситуация интересная, мы проверили: "судейская" группа авторов просто удалила из своей статьи опровергаемые разделы, то есть, признали свою неправоту.

Однако вернёмся к критике работ Белинского этими же авторами. На приведённое, мягко говоря, эмоциональное высказывание сам Белинский ответил весьма сдержанно. Он подтвердил свою позицию, но в полемику с этими критиками не вступил. Авторы критической статьи в доказательство своей правоты привели в качестве аргумента, в частности, описание так называемого эффекта обратной

реакции. Описание содержит рисунок, поясняющая подпись к которому гласит

"... диаграмма рождения пары непосредственно внутри черной дыры Шварцшильда с массой M с уходящей частицей положительной энергии E и входящей частицей отрицательной энергии – E: включая обратную реакцию, масса черных дыр сводится к M – E, и поэтому его горизонт улавливания сжимается, позволяя уходящей частице ускользнуть"

Эффект обратной реакции хорошо известен, хотя его смысловое описание, детальное описание его сущности найти не удалось. Здесь это описание просматривается довольно отчётливо. Буквально из этого описания следует, что частица с положительной энергией улетает от Чёрной дыры только благодаря тому, что её горизонт событий уменьшился из-за поглощения частицы с отрицательной энергией. Вообще-то это весьма странная трактовка, если не сказать резче. Представьте, что от шара радиусом 10 километров оторвали частицу радиусом 1 см, причём это весьма завышенное значение. Конечно, радиус шара уменьшится. Но совсем не на 1 сантиметр. Уменьшение радиуса шара будет, во-первых, ничтожным, а, во-вторых, произойдёт не сразу. Поэтому и для указанного ускользания уходящей частицы уменьшение горизонта улавливания не сыграет абсолютно никакой роли. Впрочем, мы не исключаем, что это традиционно некорректная, ошибочная трактовка явления обратной реакции.

Ещё одно из таких опровержений аргументов Белинского содержится в работе двух авторов, ведущих автором в первой указанной группе. В ней в обоснование эффекта Хокинга приводится собственная диаграмма. Эта диаграмма, анализируемая в работе, в сущности, является незначительной модификацией диаграммы Хокинга, при-

ведённой в его основополагающей работе об испарении Чёрных дыр. Следует отметить, что эта модифицированная диаграмма содержит целый ряд неточностей. Замечено, что подобные диаграммы очень часто содержат плохо завуалированные противоречия. Приведённая в статье диаграмма Пенроуза фактически *невозможна* геометрически, причём не только в смысле соблюдения исходных требований – конформности и возможности нанесения на них световых конусов. На изображённой диаграмме возникло несколько мнимых горизонтов событий, анизотропия времени, разрывы геодезических.

Помимо этого на анализируемой диаграмме присутствуют и дополнительные неточности. Например, горизонтальная линия сингулярности r = 0 по неизвестной причине изображена искривлённой линией, в отличие от диаграммы Хокинга, а знаком вопроса обозначена точка, смысл которой, видимо, неясен самим авторам. Но наибольшее недоумение вызывают красные линии, которые представляют координатные линии r = const. Эти линии изогнуты на диаграмме более чем на 270 градусов. Это значит, что на них неизбежно присутствуют *пространственноподобные* участки, недопустимые для координатных линий r = const. Получается, что вдоль линии "времениподобного будущего ловушечного горизонта ТН" участки этих линий r = const эквивалентны линиям t = const.

Кроме того линии времени t = const на диаграмме попросту отсутствуют. Это довольно распространённый приём: отказ от нанесения на диаграмму координатных линий r = const и t = const. В данном случае, на представленной диаграмме это вообще невозможно, что означает: такого пространства не существует. Ещё более странными, если не абсурдными, выглядят следующие утверждения:

"... фотоны только на мгновение покоятся ... горизонт событий находится вблизи неускоренных фотонов"

Это довольно-таки странное замечание на, вообще-то, очевидное, хорошо известное свойство фотонов, что они бывают неускоренными, вернее, они всегда неускоренные. Но это не всё. Оказывается, бывают *покоящиеся фотоны*, пусть и мгновение, а также такие, которые могут двигаться по ломаным траекториям. На диаграмме фотонная траектория типа I *трижды* пересекает одну и ту же координатную линию r = const, ближайшую к сингулярности r = 0, то есть, фотон, свободно движущийся в пространстве, пусть даже и в искривлённом, *трижды* проходит через точку с одной и той же координатой r = const, после чего спокойно уходит на бесконечность. Конечно, можно было бы допустить, что эта траектория обозначает неясное по смыслу движение *вокруг* Чёрной дыры, над её горизонтом событий, если бы одна из её точек не оказалась на самом горизонте, а линия r = const не имела бы пространственноподобного участка.

Таким образом, рассматривать приведённую диаграмму как сколь-нибудь веский аргумент в пользу испарения Чёрных дыр было бы, по крайней мере, поспешно. Выявленные странности в диаграммной аргументации лишний раз показали, что в большинстве случаев модификации диаграмм Пенроуза неизбежно ведут к их логическому "повреждению". Такие деформированные диаграммы не могут рассматриваться не только в качестве аргументов, но даже и в качестве их демонстрации. Более детально эту статью мы исследовали в нашей работе "Что такое диаграммы Пенроуза", опубликованной на сайте eLibrary.ru в разделе журнала "Фрактал". Подведя итог анализа приведённой резкой критики аргументов Белин-

ского этими "судьями", мы придём к неизбежному выводу о практически полной потере доверия к их научному авторитету. Можно сказать и по-другому. Такое "опровержение" аргументов Белинского больше похоже на признание его правоты.

Информационный парадокс

Здесь мы можем, наконец, пояснить то самое противоречие, которое придирчивый читатель мог обнаружить в наших рассуждениях в первых трёх главах. В самом деле, мы регулярно и настойчиво заявляли, что специальная теория относительности является строго *доказанной* математической теоремой. Эта теорема непротиворечива, и её невозможно опровергнуть никакими математическими мысленными экспериментами. С другой стороны, строго используя положения теории, мы убедительно показали, доказали, что главные классические "достижения" этой теории, приводимые в литературе, оказались ошибочными: в парадоксе близнецов при повторной встрече они, оказывается, будут ровесниками. В классическом доказательстве вернувшийся близнец обязательно будет моложе своего брата. Причём классический результат получен на основе такого же строгого, как считается, использования положений теории. Как же так, объявленная непротиворечивой, теория сделала два противоречивых предсказания?

Разумеется, специальная теория относительности верна, верна как теория *математическая*. Ошибочные доказательства сделала не теория, она вообще ничего сделать не может. Подчеркнём, что все мысленные эксперименты, включая парадокс близнецов и парадокс Эренфеста, являются *математическими* экспериментами. Как сказал Эйнштейн, математика способна доказать всё, что угодно,

в том числе ошибочную теорию. Но это, конечное же, неверно. Доказывает не математика, а конкретный математик, использующий положения теории. И здесь истинность доказательства определяется его вычислениями, а вот онито и могут быть неверными. Именно это мы и показали: классические выводы из парадокса близнецов опираются на некорректное использование справедливых положений специальной теории относительности. А именно: принцип относительности использован догматически. Приравниваются две инерциальные системы, но при этом одна из них всегда оказывается приоритетной, та, которая принудительно *назначается* условно неподвижной, лабораторной. Корректное использование принципа относительности, обеспечивающее действительное равноправие двух систем – неподвижного близнеца и близнеца-путешественника – приводит в итоге к равенству их возрастов. Это равноправие систем – *неизбежное, обязательное* требование теории. Заметим, что наши исследования резко контрастируют с выводами традиционной науки. В продолжение этих контрастов далее мы выскажем такие же критические замечания в отношении ещё одной гипотезы. Речь пойдёт о так называемой голографической Вселенной.

Исследуя космологические объекты – Черные дыры – известный ученый Бекенштейн однажды получил интересные выводы, которые в формулировке Сасскинда гласят, что энтропия черной дыры, измеренная в битах, *пропорциональна* площади ее горизонта, измеренной в планковских единицах. Помимо выкладок Сасскинда к похожему выводу о пропорциональности приходит и Хокинг, указывая, что Черная дыра имеет энтропию, пропорциональную площади ее горизонта событий.

Если просто остановиться на этом, то никаких противоречий мы не увидим. Но энтропия системы имеет

непосредственную связь с информацией, содержащейся в этой системе, поэтому закономерно появилось несколько расширенное толкование тезиса Бекенштейна, гласящее, что информация *равна* площади. Подчеркнём: *пропорциональность* заменена на *равенство*, то есть, заявлено, что информация, содержащаяся в Черной дыре, количественно *равна* площади её горизонта событий, измеренной в планковских единицах. Это довольно-таки загадочная связь между площадью эфемерной субстанции, не имеющей материального воплощения, и информацией, за которой, согласно традиционным представлениям, также не закрепляется никаких материальных эквивалентов. Ни площадь горизонта событий, ни информация в традиционных представлениях не являются материальными *субстанциями*. Из этого следует, что, собственно в материальном, вещественном объёме чёрной дыры информации, видимо, не содержится. Буквально: ни первичная, исходная нейтронная звезда, ни её преемница, сингулярность информации не содержат. Считается, что информация на горизонте событий – это информация обо всех объектах, упавших в Чёрную дыру или покинувших её в виде хокинговского теплового излучения.

Все это крайне интересно, поскольку весьма странно, учитывая условность самого понятия горизонта событий. Горизонт событий Черной дыры – это материально ничем не примечательное место в пространстве, главной особенностью которого является лишь некоторое специфическое значение гравитационного потенциала. Действительно, пространства чуть выше или чуть ниже горизонта различаются только этим потенциалом, и свободно падающий наблюдатель никак не сможет увидеть, почувствовать разницу между ними. Площадь горизонта напрямую

связана с объемом черной дыры. Почему же тогда информация, так сказать, "выдавливается" на её поверхность?

Чтобы подтвердить приведенный тезис о равенстве площади и информации, Сасскинд приводит несложные, выглядящие корректными, вычисления. Он рассчитал, насколько увеличится площадь горизонта событий при добавлении к Чёрной дыре одного бита информации. Как оказалось, прирост площади равен приросту информации. Правда, возникает вопрос: а к чему именно добавились эти приросты? Равна ли площадь исходного горизонта событий, до её прироста, той информации, которая якобы содержалась в ней до добавления информации? Это подразумевается, но явным образом не доказано. Заметим, что Хокинг также отмечает пропорциональную связь, но значение этого коэффициента пропорциональности в его работах мы не обнаружили.

По рекомендации Сасскинда мы провели аналогичные вычисления. Для большей наглядности мы дополнительно провели вычисления в общем, безразмерном виде. Результаты опубликованы в нашей статье "Оценка количества информации и энтропии на горизонте событий Чёрной дыры" на сайте eLibrary.ru в разделе журнала "Точная наука", выпуск №33. Полученный результат показал, что увеличение площади горизонта событий при добавлении к Черной дыре одного бита информации оказалось равным $16\pi \approx 50$ планковским площадям. Этот прирост оказался почти в 50 раз больше, чем у Сасскинда. То есть, добавление одного бита информации приводит к увеличению площади горизонта событий на 50 планковских площадей. Соответственно, площадь горизонта событий должна быть в 50 раз больше информации на нём. Или, ещё иначе, один бит информации равен 50 планковским площадям. Считать результат противоречием, разумеется, пока нельзя, по-

скольку сохранена *пропорциональность*, объявленная изначально в исходной работе Сасскинда.

По какой причине Сасскинд получил другой результат, судить сложно. Это либо небрежность в вычислениях, либо намеренная подгонка под желаемый результат. Но в любом случае мы имеем право заявить, что приведенные им выкладки ошибочны: площадь поверхности горизонта событий не только не равна информации, но даже и не пропорциональна ей, поскольку полученный нами коэффициент пропорциональности 16π также следует признать если не ошибочным, то, по меньшей мере, неполным. Очевидно, что информация и энтропия пропорциональны не только площади горизонта событий некоторой единичной Черной дыры, но и их количеству в составе общей Черной дыры, состоящей из нескольких исходных Чёрных дыр. Для простоты рассмотрим две одинаковые Черные дыры. Очевидно, что каждая из них содержит один и тот же объём информации, поскольку в противном случае любые рассуждения о её количестве просто теряют смысл. Также очевидно, что обе Черные дыры имеют одинаковую площадь горизонта событий просто потому, что это две *одинаковые* Черные дыры. Соединим эти две Черные дыры в одну. Суммарный объем информации при этом, видимо, должен остаться прежним, иначе нам следовало бы объяснить, куда исчезла или откуда появилась дополнительная информация. Найти разумное объяснение такому увеличению объёма информации не просто, даже учитывая рост энтропии в замкнутой системе.

Понятно, что масса суммарной Черной дыры удвоится, но площадь горизонта событий увеличится не в два раза, а в четыре. Мы получили два выражения для суммарного количества информации в Черной дыре: как сумму информаций двух одинаковых Черных дыр и как количе-

ство информации Черной дыры удвоенной массы: как ожидалось и оказалось, две эти величины не равны. Получилось, что в нарушение упомянутого правила объем информации в битах, содержащейся в двух отдельных, одинаковых Черных дырах в 2 раза меньше, чем объем информации, содержащейся в суммарной Черной дыре, имеющей удвоенную массу. Откуда взялся дополнительный объем информации, такой, будто к суммарной Черной дыре добавлена информация из ещё двух таких же дыр?

Эта гипотеза об информации на горизонте событий послужила основой для создания гипотезы о так называемой Голографической Вселенной. Суть гипотезы о голографической Вселенной, авторами которой являются Д.Бом и К.Прибрам, состоит в том, что наша Вселенная, наша реальность – это всего лишь "картинка" на поверхности горизонта событий Чёрной дыры. Правда, дальше этого трактовка гипотезы не идёт. А следовало бы пояснить: наша Вселенная является "голографией", но на горизонте какой именно Чёрной дыры? И что за Вселенные спроецированы на горизонты событий того множества Чёрных дыр, которые обнаружены в центрах других галактик? Обнаруженный нами рост информации при слиянии двух Чёрных дыр неизбежно вызывает "голографические" вопросы. По какой причине буквально из ничего появились две новые голографические Вселенные? Добавим, что обнаруженное нами странное расхождение в площадях и информации никто из сторонников голографической Вселенной не заметил.

В заключение следует объявить, что в принципах квантовой механики и общей теории относительности нет никакой, восхитившей Сасскинда, загадочной связи между невидимыми битами информации и кусочками площади планковского размера. Есть небрежные вычисления и

сильное желание выдать эту идею за реальность. Все рассуждения о количестве информации на горизонте Черной дыры следует признать схоластикой. Соответственно, голографическая Вселенная, выведенная из рассмотренных здесь соотношений между информацией, энтропией и площадью горизонта событий – это прекрасная идея для научно-фантастического рассказа, но она явно не годится на роль гипотезы научной.

Конечно, доводы Сасскинда не являются строгим научным описанием, хотя они все-таки сформулированы достаточно четко и однозначно. Авторитет автора не вызывает никаких сомнений – это один из ведущих физиков современности, но выводы его ошибочны.

Заключение

Сначала отметим, что все обнаруженные в данной работе явления и эффекты, в том числе, имеющие признаки парадокса – это результаты анализа мысленных экспериментов строго в рамках *математической* специальной теории относительности. Специальная теория относительности является строго доказанной *математической* теоремой, поэтому никакими математическими средствами она не может быть опровергнута. Обнаруженные в квантовой механике проблемы со вторым постулатом об инвариантности скорости света нельзя рассматривать как опровержение СТО. Эти противоречия относятся к теории, расширенной на реальный физический мир и дополненной сверхсветовыми скоростями. В нём СТО, действительно, имеет неразрешимые проблемы, в том числе, и со вторым постулатом. Квантовые опыты позволяют показать синхронность хода часов, движущихся относительно друг друга. Более того, в рамках формализма квантовой инфор-

матики, создана корректная математическая модель, гипотеза о возможности сверхсветовой передачи классической информации. На основе этой гипотезы разработано устройство, однако экспериментальная проверка его не проводилась. Но все эти противоречия не относятся к математической теории, какой она и была изначально сформулирована. В рамках этой *математической* специальной теории относительности второй постулат является, подчеркнём это особо – постулатом, то есть, утверждением, не требующим доказательства и, следовательно, неопровержимым. В дополнение в отдельной главе мы привели тривиальный способ вывода главных уравнений теории – преобразований Лоренца.

Причиной "парадоксальности" задачи о близнецах является некорректная манипуляция положениями специальной теории относительности. Мы можем получить в строгом соответствии с формализмом *математической* специальной теории относительность любое решение *кажущегося* парадокса близнецов, парадокса часов. Согласно этим решениям вернувшиеся после "путешествия" часы могут показывать время:

- меньшее, чем время на неподвижных часах;
- превышающее время на неподвижных часах;
- в точности равное времени на неподвижных часах.

Однако рассматривать эти взаимоисключающие итоги как противоречие или парадокс нельзя. Итог зависит от того, какую из двух ИСО мы выберем в качестве лабораторной, неподвижной. Именно в этой ИСО часы покажут большее время в момент повторной встречи. Симметричный выбор в качестве лабораторной обоих ИСО приводит к тому, что показания часов равны друг другу. Это решение и является окончательным и единственно верным, по-

скольку только в нём соблюдается главный принцип теории – равноправие всех ИСО.

Тем не менее, существует распространённое мнение, что парадокс близнецов в СТО не имеет решения, а имеет его только в ОТО. Это неверно. Именно в рамках математической специальной теории относительности парадокс имеет непротиворечивое решение, и оно является предельно точным. Мы показали это в строго корректных и логических построениях. Напротив, решение парадокса в общей теории относительности с использованием известного уравнения Эйнштейна для гравитационного потенциала имеет неприемлемо высокую погрешность. Подгонка, корректировка уравнения гравитационного потенциала не приводит к повышению точности.

Ещё один парадокс СТО – парадокс колеса звание парадокса получил незаслуженно. Фактически это рядовая задача теории. Вариант задачи о вращающемся цилиндре Эренфеста имеет элементарное решение в рамках формализма специальной теории относительности. Никаких противоречий, парадоксов в ней не возникает – специальная теория относительности даёт строго корректное решение этой задачи.

Помимо *мнимых* парадоксов математической специальной теории относительности, в современной официальной науке можно обнаружить ряд *действительно* парадоксальных, а на деле *противоречивых* утверждений. Некоторые из них прямо вступают в конфликт со специальной теорией относительности. Расширение СТО на сверхсветовые сигналы неизбежно ведёт к парадоксам причинности и возникновению машины времени. Попытки решить возникающие причинные парадоксы созданием принципа реинтерпретации и "тахионной механики" лишь наивно прячут проблему, но не решают её.

Другие парадоксы, как и в СТО, являются следствием некорректных математических рассуждений. Одним из наиболее ярких парадоксальных следствий таких рассуждений и выводов является квантовая нелокальность, утверждающая, что между запутанными частицами связи нет, но при измерении они переходят в строго коррелированные, то есть, *взаимосвязанные* состояния, причём мгновенно. Сингулярность Чёрных дыр – ещё один пример таких же весьма спорных выводов. Образование горизонта событий Чёрной дыры не требует коллапса, это рядовое, промежуточное состояние нейтронной звезды, просто незначительно увеличившей свою массу, при которой радиус её горизонта событий просто стал немного больше, чем её физический радиус. Нейтронная звезда как бы опустилась под поверхность горизонта событий так, как подводная лодка погружается под поверхность океана.

Существует целый класс чисто математических противоречий, не имеющих прямого отношения к физике или космологии. Например, якобы решение проблемы пятого постулата Евклида опирается, условно говоря, на математическую уловку: из рассмотрения удаляется третий постулат, но по-прежнему считается, что пятый постулат не зависит от первых четырёх. Особый интерес представляют манипуляции с нумерацией элементов бесконечных множеств числами натурального ряда. Формулируются и даже доказываются теоремы: о несчётности точек на единичном отрезке, континууме, и даже об их количественном равенстве с точками квадрата. Это абсурдные выкладки – пересчитать можно элементы любых множеств и их комбинаций, то есть, присвоить порядковый номер *каждому* элементу бесконечного множества. Способ нахождения "отсутствующего номера" является наивным и демонстри-

рует низкую квалификацию и недостаток воображения у сторонников этого способа.

В общей теории относительности рассматривается параллельный перенос вектора в искривлённых пространствах, в которых по определению отсутствуют параллели. Отдельно выделим выкладки, относящиеся к радиусу видимости и горизонту видимости Вселенной. Видимыми фактически объявляются объекты, которые на самом деле были видны, но когда-то очень давно. Сейчас они не только не видны, но не будут видны больше никогда. Однако радиус "наблюдаемости" заявлен равным порядка 46 млрд. световых лет. На самом деле мы никогда не сможем увидеть галактику, находящуюся дальше сферы Хаббла, то есть, на удалении порядка 14 млрд. световых лет. Некоторые выводы в этой области науки, в космологии вообще неприемлемы. Утверждается невозможное: наблюдать можно объекты, удаляющиеся от наблюдателя со сверхсветовой скоростью. Однако, самым интересным следует назвать неожиданно обнаруженное решение. Согласно астрономическим наблюдениям, сверхдальние галактики имеют яркость меньшую, чем это следует из стандартного закона Хаббла. Но меньшая яркость означает, что этот объект, галактика, сверхновая типа Ia находится дальше, чем это следует из этого закона, из закона Хаббла. А дальше она может быть только по одной причине – усреднённая величина постоянной Хаббла за время существования Вселенной больше, чем измеренная в наши дни. Следовательно, раньше Вселенная расширялась быстрее, чем сейчас. То есть, в целом Вселенная расширяется замедленно, как ранее и предполагали космологи. Отметим, что этот вывод получен случайно, в процессе простого анализа различных диаграмм и весьма простых вычислений. Меньшая яркость – безусловный признак замедленного расширения.

Довольно странно, что на это элементарное обстоятельство никто из специалистов не обратил внимания.

Вполне ожидаемо, что в процессе исследований обнаружены и другие явления, которые выглядят спорно, хотя при более серьёзном анализе возникает неизбежный вывод о мистическом уклоне официальной науки. Голографическая Вселенная – это явный индикатор того, что наука отклонилась на тупиковую и даже мистическую ветвь развития. В основе этого отклонения – информационный парадокс. Суть его в том, что две одинаковые Чёрные дыры содержат информацию в два раза меньшую, чем суммарная Чёрная дыра. "Голографическую" информацию. Буквально: слияние Чёрной дыры с такой же Черной дырой добавляет к каждой планковской площадки её горизонта событий ещё трёх планковских площадок. Одна площадка – своя, исходная, вторая – от присоединившейся Чёрной дыры, а две другие... откуда?

Следует отметить, что средства массовой информации, да и научные киностудии очень часто вводят своих зрителей и читателей в заблуждение. Ряд документальных фильмов – тому наглядный пример. Например, фильмы о числах. Утверждается, что чётных чисел столько же, сколько и чисел вообще. Или задача, о поиске на острове пиратского клада. Эта задача, как утверждается, создана известным астрофизиком Гамовым. Отметим, что подтверждения ссылки на авторство Гамова в русскоязычном сегменте интернета нам найти не удалось. Дикторский комментарий совершенно бессмысленный, не соответствует описываемой картине. Мы просто, так сказать, из спортивно – математического интереса исправили комментарий и добавили несколько уравнений к иллюстрации. Заметим, что наши корректирующие дополнения подтвердили правильность итогового дикторского заключения.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Содержание раздела

П1. Исходное решение – два члена ряда Тейлора 175
П2. Уточнённое решение – три члена ряда Тейлора .. 178
П3. Релятивистский интервал как источник 182
П4. Решение парадокса Эренфеста 189
Миф о парадоксе Эренфеста 196
Варианты вращения 210
Почему √2/2? 216
Парадокс поезда Эйнштейна 221
Изгибающий эффект Лоренца 225
Предельный случай 233
Выводы 240
П5. Горизонты видимости Вселенной 244
Уравнение движения 253
Парадокс ускоренного расширения 266
Три разные удалённости 269
Путаница с расширением... 283
Горизонт видимости 294
П6. Сверхсветовой квантовый семафор 297

П1. Исходное решение – два члена ряда Тейлора

В исходном ОТО-решении парадокса близнецов было использовано уравнение Лоренца с гравитационным членом, которое предложил Скобельцын [37, с.113 IV.48]

$$d\tau = \sqrt{\left(1+\frac{xg(t)}{c^2}\right)^2 - \frac{u^2}{c^2}}dt = \sqrt{1+\frac{2\chi}{c^2} - \frac{u^2}{c^2}}dt$$

Для справки приведём вид использованных в преобразованиях уравнений из цитируемой книги этого автора [37, с.113 IV.48]

$$d\tau = \sqrt{\left[1+\frac{xg(t)}{c^2}\right]^2 - \frac{1}{c^2}\left(\frac{dx}{dt}\right)^2}\,dt = \sqrt{\left[1+\frac{xg(t)}{c^2}\right]^2 - \frac{u^2}{c^2}}dt \quad (IV.48)$$

$$\chi = g(t)x + \frac{g^2(t)x^2}{2c^2} \quad (IV.72)$$

$$\frac{2\chi}{c^2} + 1 = \left(1+\frac{xg(t)}{c^2}\right)^2 \quad (IV.73)$$

$$d\tau = \sqrt{\left(1+\frac{xg(t)}{c^2}\right)^2 - \frac{u^2}{c^2}}dt = \sqrt{1+\frac{2\chi}{c^2} - \frac{u^2}{c^2}}dt \quad (IV.74)$$

Для интегрирования переменные в уравнении были представлены через известные параметры и использованным значением скорости света с = 1. Параметры для преобразования сведены в следующую таблицу:

$$u = v_0 - gt; \qquad \chi = gx + \frac{g^2x^2}{2}$$

$$1 + 2\chi = 1 + 2\left(gx + \frac{g^2x^2}{2}\right) = 1 + 2gx + g^2x^2 = (1+gx)^2$$

$$x = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$$

Полученное в итоге уравнение интеграла имеет вид

$$t_A = \int_0^{t_B} \sqrt{(1+gx)^2 - (v_0 - gt)^2}\, dt =$$

$$= \int_0^{t_B} \sqrt{\left(1 + v_0 gt - \frac{g^2 t^2}{2}\right)^2 - (v_0 - gt)^2}\, dt$$

Для численного интегрирования использован следующий фрагмент программного кода:

```
'Выводим на график время А по мнению В
speed = Sheets(Str1).Range("speed_v")  '(v0= 0,866 от с)
time_b = Sheets(Str1).Range("time_b")   '(tB=17,1 лет)
accele_g = Sheets(Str1).Range("accelera_g")
'ускорение = 2v0/tB
step_b = Sheets(Str1).Range("step_b")   '(=2000 шагов интеграла)
'Начальные значения координат графика интеграла
Cx = 0
Cy = 0
'Начальное значение величины интеграла
time_tau = 0
'Флаг уменьшения вдвое точек графика
chet = 1
'Дифференциал интеграла
d_speed = time_b / step_b
'Пределы интеграла – от нуля до времени по часам звездолёта, участника В
'Интервал интегрирования разбиваем на step_b отрезков, дифференциалов
For s = 0 To step_b
'Формируем подынтегральную функцию
   t_speed = d_speed * s
   gt = t_speed * accele_g
   g2t2 = gt * gt
```

```
    gravi = 1 + speed * gt - g2t2 / 2
    gravi2 = gravi ^ 2
    sto = (speed - gt) ^ 2
    koren_inside = gravi2 – sto
'Находим текущее значение дифференциала
    delta_T = Sqr(koren_inside) * d_speed
'Суммируем дифференциалы, получаем текущее значение интеграла
    time_tau = time_tau + delta_T
'Индикатор шага интегрирования. Необходим для контроля на отсутствие зависания процедуры и ожидаемого времени её завершения
    Sheets(Str1).Range("mods") = s
'Индикатор значения интеграла на данном шаге интегрирования
    Sheets(Str1).Range("integral_t") = time_tau
'Собираем данные для графика в два массива – координаты на диаграмме.
'Используем только половину данных, то есть, собираем через раз. Связано это с тем, что график имеет слишком много точек, которые программный комплекс не может вывести на диаграмму
    If chet > 0 Then
        Cx = Cx & ";" & Round(t_speed, digits)
        Cy = Cy & ";" & Round(time_tau, digits)
    End If
    chet = -chet
'Аварийный останов вычислений – нажатие любой клавиши
    aaa = DoEvents
'Цвет графика
colorC = 2
'Толщина линии графика
```

```
dick = 3
'График – сплошная линия
dash = msoLineSolid
'График – штриховая линия. Отключено
'dash = msoLineDash
'Выводим каждый промежуточный результат вычислений графика, каждую его точку. Для красоты.
Call graph(Cx, Cy, colorC, dick)
'Активируем диаграмму несколько раз, чтобы избежать пульсаций в режиме вывода каждой текущей точки графика. Действие необязательное.
ActiveSheet.ChartObjects(dname).Activate
ActiveSheet.ChartObjects(dname).Activate
ActiveSheet.ChartObjects(dname).Activate
Next
```

П2. Уточнённое решение – три члена ряда Тейлора

Для следующего, более точного ОТО-решения парадокса близнецов было сформулировано новое гравитационное уравнение Лоренца

$$t_A = \int_0^{t_B} \sqrt{(1+gx)^2 + 2\left(gx + \frac{g^2x^2}{2}\right)^2 - (v_0 - gt)^2}\, dt$$

Получено оно путём разложения в ряд Тейлора точного экспоненциального уравнения Эйнштейна и использованием трёх первых членов ряда:

$$\sigma = \tau\, e^{\frac{2\Phi}{c^2}} \approx 1 + \frac{2\Phi}{c^2} + \frac{4\Phi^2}{2c^4} = 1 + \frac{2\Phi}{c^2} + \frac{2\Phi^2}{c^4}$$

То же самое в обозначениях Эйнштейна и с использованием греческого символа χ:

$$e^{2\frac{\gamma\varsigma}{c^2}} \approx 1 + \frac{2\gamma\varsigma}{c^2} + \frac{4\gamma^2\varsigma^2}{2c^4} = 1 + \frac{2\chi}{c^2} + \frac{2\chi^2}{c^4}$$

Ранее, менее точное гравитационное уравнение Лоренца в этих же обозначениях имело вид

$$d\tau = \sqrt{1 + \frac{2\chi}{c^2} - \frac{u^2}{c^2}}dt$$

Добавление третьего члена ряда Тейлора дало новый вид уравнения

$$d\tau = \sqrt{1 + \frac{2\chi}{c^2} + \frac{2\chi^2}{c^4} - \frac{u^2}{c^2}}dt$$

Преобразуем уравнение, используя следующие классические выражения текущего значения *x* и скорости *u* и учитывая принятое нами значение скорости света c = 1. Параметры для преобразования приведены в таблице выше. В итоге получаем

$$d\tau = \sqrt{(1 + 2\chi) + 2\chi^2 - u^2}dt =$$

$$= \sqrt{(1 + gx)^2 + 2\left(gx + \frac{g^2x^2}{2}\right)^2 - (v_0 - gt)^2}dt$$

Интегрированием находим значение времени по часам Земли с точки зрения наблюдателя на звездолёте

$$t_A = \int_0^{t_B} \sqrt{(1 + gx)^2 + 2\left(gx + \frac{g^2x^2}{2}\right)^2 - (v_0 - gt)^2}dt$$

Далее приведён текст процедуры интегрирования уравнения с точностью до параметров 4-го порядка

```
Sub time_4x()
'Приближение g00 с точностью до членов 4-ой степени ряда Тейлора
speed = Sheets(Str1).Range("speed_v")  '(v0= 0,866c = корень(3)/2)
time_b = Sheets(Str1).Range("time_b")   '(tB=17,1 лет)
accele_g = Sheets(Str1).Range("accelera_g")
'(ускорение = 2v0/tB)
```

```
step_b = Sheets(Str1).Range("step_b")   '(=2000 шагов интеграла)
'Начальные значения координат, таблицы графика интеграла
Fx = 0
Fy = 0
'Начальное значение величины интеграла
time_tau = 0
'Флаг уменьшения вдвое количества точек графика
chet = 1
'Дифференциал интеграла
d_time = time_b / step_b
'Пределы интеграла – от нуля до времени по часам звездолёта, участника B
'Интервал интегрирования разбиваем на step_b отрезков, дифференциалов
For s = 0 To step_b
'Формируем подынтегральную функцию
   t_step = d_time * s
   gt = t_step * accele_g
   g2t2 = gt * gt
'Вспомогательные параметры
   gx = Sqr(3) * gt / 2 - g2t2 / 2
   gtx = (1 + gx) ^ 2 + 2 * (gx + gx ^ 2 / 2) ^ 2
'Третье слагаемое
minus_v2 = speed – gt
sto = minus_v2 ^ 2
'Находим текущее значение дифференциала
   delta_T = d_time * Sqr(gtx – sto)
'Суммируем дифференциалы, получаем текущее значение интеграла
   time_tau = time_tau + delta_T
'Индикатор шага интегрирования
```

```
    Sheets(Str1).Range("mods") = s
'Индикатор значения интеграла на данном шаге интегрирования
    Sheets(Str1).Range("integral_t") = time_tau
    Sheets(Str1).Range("flags").Offset(1, 7) = time_tau
'Собираем данные для графика через раз для уменьшения размера таблицы
'Используем только половину данных, то есть, собираем через раз. Связано это с тем, что график имеет слишком много точек, которые программный комплекс не может вывести на диаграмму
    If chet > 0 Then
        Fx = Fx & ";" & Round(t_step, digits)
        Fy = Fy & ";" & Round(time_tau, digits)
     End If
    chet = -chet
'Аварийный останов вычислений – нажатие любой клавиши
    aaa = DoEvents
Next
'Цвет графика
colorF = 4
'Толщина линии графика
dick = 2
'График – сплошная линия
dash = msoLineDash
'График – штриховая линия. Отключено
'dash = msoLineSolid
Call graph(Fx, Fy, colorF, dick)
End Sub
```

П3. Релятивистский интервал как источник

Главным источником всех решений парадокса близнецов в рамках общей теории относительности можно назвать релятивистский интервал, вернее, его квадрат. Использованные нами уравнения для вычисления времени путешественника считаются довольно простыми. Как пишет физик Окунь [29, с.1144]:

"Нетрудно получить общую формулу, описывающую воздействие как гравитационного потенциала ϕ, так и скорости u ... "

$$d\tau = dt\left[1+\frac{2\phi}{c^2}+\frac{u^2}{c^2}\right]^{1/2}, \qquad (1)$$

Проделав различные преобразования гравитационного потенциала для получения его приближенных значений, мы пришли к выводу, что итоги вычислений по указанным уравнениям и такими приближениями не дают приемлемо точного результата. Строго говоря, такой исход выглядит всё-таки странно и требует выяснить хотя бы в общих чертах, в виде справки предысторию этих приближений, чтобы выяснить, с чем связаны эти погрешности.

Для выяснения этого рассмотрим историю получения приближенных значений потенциала. Можно сказать, что одним из главнейших уравнений теории относительности, если не самым главным, является уравнение квадрата так называемого релятивистского интервала – ds^2. Это величина, от которой отталкиваются многие из выкладок теории относительности. Согласно мнению физика Окунь:

"Как известно, последовательное релятивистское описание классической гравитации дает ОТО с ее искривленной пространственно-временной метрикой. В основе этой теории лежит метрический тензор $g_{ik}(x)$, $i,к = 0,1,2,3$, который при изменении координат преобразуется таким

образом, что интервал *ds* между двумя событиями с координатами x^i *и* $x^i + dx^i$... остается неизменным" [29, с.1144].

Поскольку величина эта – квадрат, то её значение, очевидно, всегда величина положительная. Но это, так сказать, традиционный подход. В теории относительности рассматриваются значения *квадрата* интервала в широком математическом смысле: он может быть не только положительной величиной, то и нулевой или отрицательной. Как ни странно, но отрицательная величина квадрата релятивистского интервала описывает обычный, ньютонов мир, то есть, движение тел со скоростью, не превышающей скорость света. Такое значение интервала и соответствующее движение называют времениподобным. Соответственно, положительное значение квадрата релятивистского интервала называют пространственноподобным, и описывает этот интервал движение со скоростью, не меньшей, чем скорость света. Это движение частиц, названных тахионами. Как видим, остаётся ещё одно значение интервала – нулевое. Его называют светоподобным, и описывает он движение фотонов. В нашей книге "Парадокс близнецов в специальной, общей и тахионной теориях относительности" [51] мы показали, что каждому знаку релятивистского интервала соответствует собственная теория относительности: специальная, тахионная и фотонная.

Релятивисты ошибочно расширили область применимости специальной теории относительности на тахионы и, разумеется, получили массу нефизичных параметров: движение в прошлое с сопутствующими парадоксами причинности, отрицательную или мнимую массу. Никто из них не заметил, что подобные противоречия возникают, когда на сверхсветовую частицу, тахион распространяют теорию относительности, запретную для неё. В специальной теории относительности нет места тахионам, а в тахи-

онной теории – тардионам, то есть, частицам, движущимся с досветовой скоростью.

Заметим, что прямой анализ отрицательного значения релятивистского интервала ведёт к образованию классических уравнений Лоренца. Однако это относится только к инерциальным системам, в которых отсутствуют ускорения или гравитационные силы. Если допустить их наличие, то уравнение квадрата релятивистского интервала приобретает несколько иную форму. Теперь каждое из слагаемых в уравнении интервала содержит дополнительный, персональный множитель, коэффициент. Один из этих коэффициентов, прикрепленный к слагаемому со скоростью света, получил название "гравитационный потенциал" и обычно записывается как g_{00}. Именно этот множитель, потенциал и рассматривается как главный инструмент в решении парадокса близнецов. В нашей попытке решения парадокса мы использовали выражение этого коэффициента, предложенное Эйнштейном, и получили неудовлетворительный результат. В литературе можно встретить разные трактовки, виды записи релятивистского интервала.

$$ds^2 = g_{ik} dx^i dx^k$$

Чаще всего рассматривается его развёрнутая форма при $i = k$:

$$ds^2 = -g_{00} c^2 dt^2 + g_{11} dx^2 + g_{22} dy^2 + g_{33} dz^2$$

В случае одномерного, линейного движения, интервал можно переписать в виде:

$$ds^2 = -g_{00} c^2 dt^2 + g_{11} dx^2$$

При исследовании парадокса близнецов всегда принимается $g_{11}=1$, а величина g_{00} описывает внешнее гравитационное поле:

$$ds^2 = -g_{00} c^2 dt^2 + dx^2$$

Значение величины g_{00}, судя по литературным данным, зачастую задаётся с определённой долей произвола, без достаточно убедительных обоснований. Точное значение потенциала Эйнштейном приводится в литературе также без обоснования, во всяком случае, в доступной литературе оно нам не встретилось.

$$g_{00} = e^{\frac{\gamma\varsigma}{c^2}} \qquad (3.1)$$

Интервал с этим значением потенциала имеет вид:

$$ds^2 = -e^{\frac{\gamma\varsigma}{c^2}} c^2 dt^2 + dx^2 \qquad (3.2)$$

Именно отсюда и возникает известное уравнение для решения парадокса близнецов. Поскольку движение времениподобное, то сам квадрат интервала является величиной отрицательной, поэтому:

$$-ds^2 = -e^{\frac{\gamma\varsigma}{c^2}} c^2 dt^2 + dx^2 = -\left(1 + \frac{2\Phi}{c^2}\right) c^2 dt^2 + dx^2$$

Здесь значение гравитационного потенциала взято в традиционном, приближенном виде, со ссылкой на слабость гравитационного поля [29, с.1144]:

"Слабое гравитационное поле можно описывать с помощью гравитационного потенциала ϕ, при этом g_{00} выражается через ϕ следующим образом":

$$g_{00} = 1 + \frac{2\phi}{c^2} \qquad (7)$$

Уточним, что такой вид потенциала получен путём довольно замысловатого разложения в ряд Тейлора исходного, считающегося точным, значением, предложенным Эйнштейном (3.1). Далее просто отбрасываются члены ряда более высоких порядков, то есть, менее точные. Преобразуем приведенное выше уравнение для отрицательного значения интервала:

$$\frac{ds^2}{c^2}=\left(1+\frac{2\Phi}{c^2}\right)dt^2-\frac{dx^2}{c^2}\quad\rightarrow\quad d\tau=dt\sqrt{1+\frac{2\chi}{c^2}-\frac{v^2}{c^2}}$$

Как мы уже обнаружили, использование в качестве g_{00} преобразованного уравнения Эйнштейна не позволило получить приемлемо точное решение парадокса близнецов [48]. Иначе говоря, если считать выражение Эйнштейна точным, то неточным получается результат. Однако можно встретить и несколько иную запись интервала [16, с.145]:

$$ds^2=\exp(2v)dt^2-\exp(2v)dt^2-r^2d\theta^2-r^2\sin^2\theta d\varphi^2$$

Перепишем это уравнение в эквивалентную форму для одномерного движения:

$$ds^2=e^{2v}dt^2-e^{2\lambda}dr^2 \qquad (3.3)$$

Теперь обратим внимание на двойку в экспоненте. В сущности, её появление можно отнести к математическому вкусу автора, поскольку, например, в другом случае она находится в знаменателе показателя степени экспоненты [18, с.392]:

$$\Delta\tau=e^{v/2}\Delta t \qquad (7.2)$$

А также может вообще отсутствовать, как в уравнении Эйнштейна (3.1). Конечно, можно, не приводя особых объяснений, нейтрально заявить, что этот множитель взят просто для удобства [40, с.221]. Однако обратим внимание на то, что все элементы в уравнении интервала являются квадратами. Вполне логично и данный коэффициент рассматривать как квадрат некоторой величины. Тогда выражение (3.2) можно переписать:

$$ds^2=-\left(e^{\frac{\gamma\varsigma}{c^2}}\right)^2c^2dt^2+dx^2$$

Или в таком, строчном виде:

$$ds^2=-\left(e^{\chi}\right)^2dt^2+dx^2$$

Такая трактовка двойки в экспоненте приводит к интересному результату. Традиционное понижение точности приближением имеет вид:

$$\sigma = \tau\, e^{\frac{2\Phi}{c^2}} \approx 1 + \frac{2\Phi}{c^2}$$

Если же рассматривать двойку как показатель степени, то мы получим:

$$\sigma = \tau\, e^{\frac{2\Phi}{c^2}} \approx \left(1 + \frac{\Phi}{c^2}\right)^2$$

Изменив обозначения в последнем варианте и используя эквивалент (3.3), получаем:

$$e^{2\chi} \approx (1+\chi)^2 = \left(1 + gx + \frac{g^2x^2}{2}\right)^2$$

Подчеркнём: это значение получили именно мы, используя уравнение приближения. Вновь вернёмся к уравнению интервала, подставив в него это значение потенциала:

$$-ds^2 = -\left(1 + gx + \frac{g^2x^2}{2}\right)^2 dt^2 + dx^2$$

После преобразований получаем новый вид интеграла:

$$t_A = \int_0^{t_B} \sqrt{\left(1 + gx + \frac{g^2x^2}{2}\right)^2 - (v_0 - gt)^2}\, dt \qquad (3.4)$$

Численное интегрирование для ранее сформированного нами значения gx дало результаты, представленные на рис.3.1. На графике в результате численного интегрирования получено $t_A = 19{,}9$ – конечная точка жёлтой штриховой линии. Дискретность числового интегрирования – 2 000, точность результата, то есть, отклонение от известного, значения времени по земным часам: – 0,46%. Такой результат также является приемлемым только отчасти, по-

скольку он получен не с точным эйнштейновским гравитационным потенциалом. Проверка точности интегрирования в зависимости от других значений дискретности интервалов показала, что значение величины t_A во всех случаях существенно приблизилось к точному, земному значению, особенно при дискретности 87. Но это свидетельствует, скорее, о плохом соответствии уравнения гравитационного потенциала заданным требованиям.

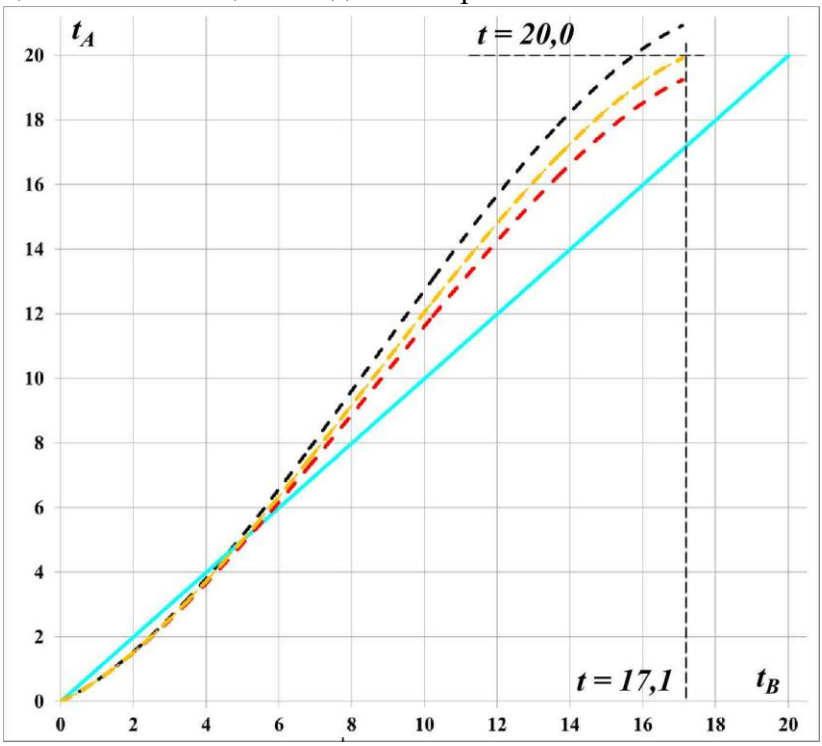

Рис.3.1 Численное интегрирование уравнения (3.4)

Отметим, что другие интегралы, различающиеся, полученные, исходя из разных допущений и интеграл (3.4) на всех дискретностях привели к неразличимо совпадающим результатам. Всё это позволяет сделать вывод, что

решение парадокса близнецов в формализме ОТО является неубедительным.

П4. Решение парадокса Эренфеста

Основное "назначение" множества парадоксов СТО – это показать внутренние противоречия теории. Если теория делает предсказания о каком-либо явлении, которые противоречат друг другу, то это свидетельствует об ошибочности теории, что требует её пересмотра. Парадоксы СТО выводятся из мысленных экспериментов, то есть, воображаемого эксперимента на основе положений теории. Одним из таких парадоксов по праву считается один из старейших парадоксов – парадокс Эренфеста от 1909 года, в настоящее время часто формулирующийся как "парадокс колеса" и который, по утверждению многих авторов, до настоящего времени не имеет удовлетворительного объяснения, решения.

В литературе приводятся несколько различающихся формулировок "парадокса" Эренфеста. Здесь в кавычки слово парадокс поставлено умышленно, поскольку в данной заметке будет показано, что парадокс сформулирован с ошибками, на основе утверждений, приписываемых специальной теории относительности, но которых она не делает. Обобщенно эти различные формулировки парадокса можно свести к трем группам:

- при вращении колеса спицы деформируются;
- невозможно вообще раскрутить из состояния покоя колесо из абсолютно твердого материала;
- при раскрутке до световой скорости (обод) колесо стягивается в точку, исчезает.

Все эти формулировки в своей сути достаточно близки друг к другу и при некоторых условиях объединя-

ются. Например, в книге Соколовского "Теория относительности в элементарном изложении" приводится такая формулировка:

"Вначале колесо неподвижно, а затем приводится в столь быстрое вращение, что линейная скорость его краев приближается к световой. При этом участки обода … сокращаются …, тогда как радиальные "спицы" … сохраняют свою длину (ведь релятивистское укорочение испытывают только продольные размеры, т.е. размеры в направлении движения)" [38].

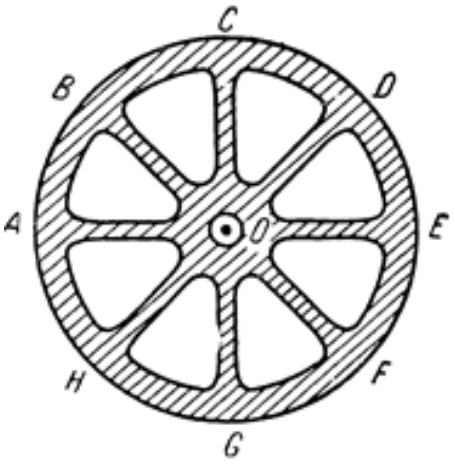

Рис.4.1. Иллюстрация к парадоксу колеса в работе [38]

Далее в книге приводится решение сформулированного парадокса:

"… когда неподвижное вначале колесо приводится в быстрое вращение: его обод стремится сократиться, а спицы – сохранить неизменную длину. Какая из этих тенденций возьмет верх – всецело зависит от механических свойств обода и спиц; но никакого укорочения обода без пропорционального ему укорочения спиц не будет (разве что колесо примет форму сферического сегмента). Оче-

видно, что с принципиальной точки зрения ничто не изменится также и в том случае, если колесо со спицами будет заменено сплошным диском" [38].

Это ошибочное решение и суть его, как видим, состоит в том, что либо спицы обязательно под давлением обода сократятся, либо обод вытянется, в зависимости от жесткости материала. Видимо, при однородности материала сокращение будет взаимным: сократятся и спицы и обод, но в меньшей мере. Парадокс колеса рассмотрен в работе Кулигина "Неисправленная ошибка Пуанкаре и анализ СТО":

"Рассмотрим плоский, твердый диск, вращающийся вокруг своей оси. Пусть линейная скорость его края по порядку величины сравнима со скоростью света. Согласно специальной теории относительности, длина края этого диска должна испытывать лоренцово сокращение… В радиальном направлении лоренцова сокращения нет, поэтому радиус диска должен сохранять свою длину. При такой деформации диск технически уже не может быть плоским. Угловая скорость вращения уменьшается с увеличением расстояния от оси вращения. Поэтому соседние слои диска должны скользить друг относительно друга, а сам диск будет испытывать деформации кручения. Диск с течением времени должен разрушиться" [23].

Трактовка, следует заметить, весьма специфическая: разрушение связывается не со сжатием внутренних слоёв или спиц, а с их изгибом, закручиванием. Причину возникновения разности угловых скоростей автор не объясняет, ссылаясь на Эренфеста, и лишь добавляя:

"Сами релятивисты не смогли привести никаких объяснений физических причин ни для объяснения гипотезы, ни для объяснения парадокса" [23].

Однако, это единственное описание эффекта скручивания диска, которое при беглом просмотре в интернете нам не встретилось больше нигде. Википедия описывает парадокс следующим образом

"Рассмотрим окружность (или полый цилиндр), вращающуюся вокруг своей оси. Так как скорость каждого элемента окружности направлена по касательной, то она (окружность) должна испытывать лоренцево сокращение, то есть её размер для внешнего наблюдателя должен казаться меньше, чем её собственная длина. … изначально неподвижная жёсткая окружность после её раскручивания должна парадоксальным образом уменьшать свой радиус, чтобы сохранить длину. По рассуждениям Эренфеста абсолютно твёрдое тело невозможно привести во вращательное движение, поскольку в радиальном направлении лоренцева сжатия быть не должно. Следовательно, диск, бывший в покоящемся состоянии плоским, при раскручивании должен как-то изменить свою форму" [30].

Здесь указывается ещё одно проявление парадокса со ссылкой на Эренфеста: абсолютно твердый диск вообще невозможно привести во вращение. Подобная же трактовка приведена и в "Энциклопедии для детей", которая, в свою очередь, ссылается на авторскую работу Эренфеста – короткую заметку "Равномерное вращательное движение тел и теория относительности" от 1909 года:

"Заметка содержала парадоксальное утверждение: абсолютно твердый цилиндр (или диск) невозможно привести в быстрое вращательное движение вокруг центральной оси, в противном случае возникает противоречие частной теории относительности. В самом деле, пусть такой диск вращается, тогда длина его окружности вследствие лоренцева сокращения уменьшится, а радиус диска останется постоянным …. При этом отношение длины

окружности диска к диаметру уже не равняется числу n. Этот мысленный эксперимент и составляет содержание парадокса Эренфеста" [45].

Здесь, можно отметить, приводится основная, общепринятая формулировка парадокса Эренфеста, отличающаяся от распространенной формулировки парадокса колеса. В ней уже не говорится о деформации диска или спиц колеса. Просто диск будет оставаться неподвижным. В работе "Тайны космоса" без указания ссылки на источник приведены размышления Эренфеста:

"… проведем опыт с диском. Будем вращать его, постепенно увеличивая скорость. Размеры диска… будут уменьшаться; кроме того, диск искривится. Когда же скорость вращения достигнет скорости света, он попросту исчезнет. И куда только денется?" [19].

На приведённом ещё в одной работе рисунке искривлённый диск изображен с четырьмя спицами, изогнувшимися в виде некоторого подобия свастики и подписью к нему:

"... диск при вращении должен был деформироваться, как показано на рисунке" [34].

То есть, как и выше делается вывод о деформации спиц, при этом, очевидно, вполне обоснованно предполагается, что твёрдость обода превышает гибкость спиц. Наконец, чтобы выяснить, какая из формулировок парадокса соответствует авторской, приведём описание парадокса, как он сформулирован в упомянутой работе Эренфеста. Приводимая ниже цитата составляет практически всё содержание той краткой заметки:

"Оба определения не абсолютной твердости являются – если я правильно понял – эквивалентными. Поэтому достаточно указать на простейший вид движения, для которого данное первоначальное определение уже приво-

дит к противоречию, а именно на равномерное вращение вокруг неподвижной оси. В самом деле, пусть имеется не абсолютно твердый цилиндр С с радиусом R и высотой H. Пусть он постепенно приводится во вращение вокруг своей оси, происходящее затем с постоянной скоростью. Назовем R' радиус, который характеризует этот цилиндр с точки зрения неподвижного наблюдателя. Тогда величина R' должна удовлетворять двум противоречащим друг другу требованиям:

а) длина окружности вращающегося цилиндра по сравнению с состоянием покоя должна сократиться:

$$2\pi R' < 2\pi R,$$

поскольку каждый элемент такой окружности движется в направлении касательной с мгновенной скоростью R'ω;

б) мгновенная скорость какого-либо элемента радиуса перпендикулярна его направлению; это значит, что элементы радиуса не подвергаются никакому сокращению по сравнению с состоянием покоя.

Отсюда следует, что

$$R` = R$$

Замечание. Если считать, что деформация каждого элемента радиуса определяется не только мгновенной скоростью центра тяжести, но также и мгновенной угловой скоростью этого элемента, то необходимо, чтобы функция, описывающая деформацию, содержала кроме скорости света с еще одну универсальную размерную константу, или же в нее должно входить ускорение центра тяжести элемента" [46].

Как видим, по крайней мере, в первоначальной авторской версии парадокс прямо касается не абсолютно твердых тел. Ничего не говорится о скручивании слоёв. Ничего об "исчезновении" диска. Возможно, все эти рас-

ширения первоначальной идеи сформулированы где-то в последующих работах Эренфеста, но оставим это всё на совести цитированных авторов: проверяемых ссылок на свои утверждения они не привели. В дальнейшем содержание парадокса было несколько расширено: вместо цилиндра стали рассматривать колесо или даже движущийся по кругу поезд. Все эти формулировки парадокса по своей сути достаточно близки друг к другу [24, с.309; 30; 38, с.127; 41, 41:05].

За годы существования парадокса были предложены разные варианты его решения. Например, Ландау и Лившиц приводят следующее объяснение:

"... простое рассуждение, наглядно иллюстрирующее неизбежность возникновения неевклидовости пространства при переходе к неинерциальной системе отсчета. Рассмотрим две системы отсчета, из которых одна (K) инерциальна, а другая (K') равномерно вращается относительно K вокруг общей оси z. ... Наблюдая за этим процессом из системы K, мы найдем, что масштаб, приложенный вдоль окружности, претерпевает лоренцево сокращение, а радиально приложенный масштаб не меняется. Ясно поэтому, что отношение длины окружности к ее диаметру, полученное в результате такого измерения, окажется больше π" [24, с.309].

Система K в рассматриваемом случае – это неподвижная система, из которой производится наблюдение за вращающимся колесом, а система K' – неинерциальная система с неевклидовым пространством-временем, внутреннее пространство на вращающемся диске. Такое решение можно называть традиционным, оно встречается в том или ином виде у разных авторов. Менее известен вариант парадокса в виде "поезда Эйнштейна". Парадокс в этом случае возникает, если рассматривать быстрое движение по-

езда по кругу. Таким образом, мы вполне обоснованно можем рассмотреть:

Миф о парадоксе Эренфеста

Рассмотрим по возможности современные версии парадокса, указанные в начале главы. Простейшей и, видимо, самой распространенной, является версия "парадокс колеса", которая, как можно заметить, в наибольшей степени совпадает моделью, сформулированной Эренфестом. По сути, парадокс Эренфеста и является тождественно парадоксом колеса.

Однако сначала мы рассмотрим его предельный вариант, версию парадокса. Это версия, в которой спицы или внутренняя часть колеса не вращаются вообще. В этом случае мы избавляемся от всяких сомнений по поводу того, сокращаются спицы или не сокращаются. Такое "колесо", как можно догадаться, имеет вид полого тонкостенного цилиндра или тонкого кольца, насаженного на толстую ось. Решение такого "парадокса" очевидно. И вновь, как выше, слово "парадокс" здесь взято в кавычки исключительно по причине того, что это, собственно, и не парадокс, а псевдо –, мнимый парадокс. Специальная теория относительности описывает поведение такого колеса без каких-либо противоречий. Действительно, с точки зрения неподвижной оси "обод" колеса при вращении испытывает лоренцево сокращение, что приводит к уменьшению его диаметра. С этой точки зрения либо колесо лопнет, либо оно сожмёт ось, выдавив на ней выемку, либо при достаточной упругости кольцо растянется. В этом случае внешний наблюдатель не заметит никаких изменений, даже если колесо – кольцо будет раскручено до световой скорости: лишь бы материалу колеса хватило запаса упругости.

Теперь перейдём в систему отсчета колеса – обода. Очевидно, что невозможно привязать систему покоя ко всему колесу, поскольку векторы скоростей точек направлены в разные стороны. В покое может быть одновременно лишь одна точка, касающаяся неподвижной поверхности. Понятно, что такое "неподвижное" колесо – это просто колесо, катящееся по неподвижной поверхности. О нём мы только-то и можем сказать, что скорость его центра равна половине скорости элемента на верхней части. Но это замечание вдруг неожиданно напоминает нам уже рассмотренный парадокс – парадокс транспортера [50, с.75]. Действительно, в том парадоксе тоже есть три точки: неподвижная; верхняя, движущаяся с некоторой скоростью и средняя, движущаяся с половинной от верхней скоростью. Что может быть общего между колесом и транспортером? Однако присмотримся более внимательно. Посмотрим на колесо под некоторым углом к его оси. Чем этот угол больше, тем сильнее "сплющивается" колесо, принимая вид вытянутого эллипса, что довольно заметно напоминает транспортер. Хотя на получившемся транспортере лента – обод колеса движется по эллиптической траектории, мы вполне можем рассматривать "проекцию" этого обода на горизонтальную ось. В этом случае мы получаем вполне допустимую аналогию задачи о транспортерной ленте и её очевидное решение.

Обод колеса, видимый как транспортерная лента, как и в задаче о транспортере будет сокращаться, что неизбежно приведёт либо к его разрыву, либо к деформации оси, которая под выбранным углом выглядит как станина транспортера. Понятно, что ось может быть сегментированной, то есть состоять из спиц, которые, как и сплошная ось, будут деформированы, если обод окажется прочнее. Таким образом, вариант "парадокса" колеса с

тонким ободом и неподвижной осью парадоксом не является, поскольку теория относительности делает о нём непротиворечивые предсказания.

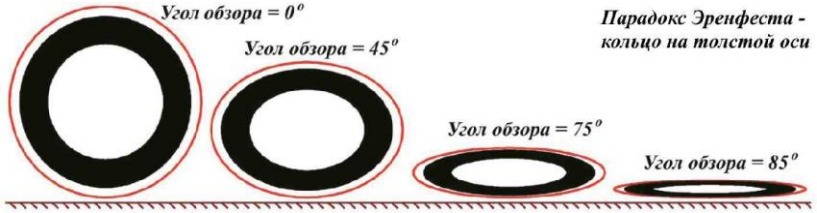

Рис.4.2. Если смотреть на колесо под большим углом, оно выглядит как эллипс. Окружность из утолщенной линии – это внешняя поверхность оси колеса. Окружность из тонкой линии – вращающийся обод (колесо). Кадры из анимации [56], вид колеса под разными углами

Теперь перейдём к сплошному диску. Рассмотрим основной вариант парадокса – парадокса колеса. Более того, будем считать, что диск абсолютно твердый и сплошной, без спиц, то есть, одновременно рассмотрим и вывод из парадокса Эренфеста о невозможности раскрутки такого диска. Для удобства и без нарушения общности представим диск как туго насаженные друг на друга концентрические окружности – ободы достаточно малой толщины и жестко скрепленные друг с другом. Обозначим радиус каждого такого обода R_i. Длина окружности каждого обода будет, соответственно, $2\pi R_i$. Допустим, нам удалось раскрутить диск. Угловая скорость диска ω едина для каждой точки диска и определяет линейную скорость каждого частного обода диска. Тангенциальная скорость каждой точки обода $v_i = 2\pi\omega R_i$. Отметим, что в некоторых прежних версиях статьи мы отбрасывали множитель 2π, то есть, использовали *приведённое* значение угловой скорости, увеличенное в 2π раз. На итогах вычислений это не отрази-

лось. Сокращенную длину окружности каждого обода определяем по уравнениям Лоренца

$$L_i = 2\pi R_i \sqrt{1 - v_i^2} \qquad (4.1)$$

Здесь мы рассматриваем задачу в системе единиц, в которой скорость света c = 1. Рассмотрим два обода: внешний с R_0 и один из внутренних, следующий – R_1; пусть $R_1 = kR_0$, где k = 0…1. Из уравнения (4.1) получаем:

$$L_1 = 2\pi k R_0 \sqrt{1 - k^2 v_0^2}$$

$$L_0 = 2\pi R_0 \sqrt{1 - v_0^2}$$

При "раскручивании" диска два эти обода уменьшили свою длину. Следовательно, классические радиусы их новых окружностей будут равны:

$$R_{1\omega} = \frac{L_1}{2\pi} = k R_0 \sqrt{1 - k^2 v_0^2}$$

$$R_{0\omega} = \frac{L_0}{2\pi} = R_0 \sqrt{1 - v_0^2} \qquad (4.2)$$

Несомненно, отрицать сокращение радиуса каждого обода, нет никаких разумных оснований. Любая окружность имеет радиус. Если уменьшилась окружность, то неизбежно уменьшился и её радиус. Но при этом мы видим весьма странное выражение, которое мы с полным основанием можем назвать поперечным эффектом Лоренца. Действительно, выражения (4.2) определенно *выглядят* как уравнения преобразований Лоренца для радиуса:

$$R_1 = R_0 \sqrt{1 - v_0^2}$$

Строго в соответствии с предсказаниями СТО радиусы внутренних ободов колеса испытывают такое же *эквивалентное* лоренцево сокращение, как и его внешний обод. Уточним, что в нашем случае каждый из этих радиусов является виртуальным, геометрическим, не имеющим материального воплощения. Должно быть понятно, что это со-

кращение радиуса всего лишь *следствие* сокращения длины окружности, своеобразный эффект удавки, но совпадение весьма показательно, и именно этот *индуцированный* поперечный эффект Лоренца пытаются опровергнуть все известные авторы. Продолжим рассуждения и найдем отношение радиусов ободов после раскрутки, которое равно:

$$\frac{R_{1\omega}}{R_{0\omega}} = \frac{kR_0\sqrt{1-k^2v_0^2}}{R_0\sqrt{1-v_0^2}} = k\sqrt{\frac{1-k^2v_0^2}{1-v_0^2}}$$

Выражение показывает, что отношение радиусов смежных слоёв зависит от тангенциальных скоростей ободов. Нас должно заинтересовать, какой может быть скорость вращения, чтобы радиусы, отличающиеся в k раз в неподвижном состоянии, после раскрутки *сравнялись*. Видимо, это будет предельная скорость, после которой слои начнут "наползать" друг на друга, препятствуя увеличению скорости вращения. Это уравнивание означает, что отношение радиусов равно единице:

$$\frac{R_{1\omega}}{R_{0\omega}} = k\sqrt{\frac{1-k^2v_0^2}{1-v_0^2}} = 1 \qquad (4.3)$$

Для наглядности отбросим левое равенство:

$$k\sqrt{\frac{1-k^2v_0^2}{1-v_0^2}} = 1$$

Делим всё на k

$$\sqrt{\frac{1-k^2v_0^2}{1-v_0^2}} = \frac{1}{k}$$

Возводим в квадрат обе части равенства

$$\frac{1-k^2v_0^2}{1-v_0^2} = \frac{1}{k^2}$$

Избавляемся от дробного вида

$$k^2 - v_0^2k^4 = 1 - v_0^2$$

Переносим влево члены со скоростью, а вправо члены без скорости

$$v_0^2 - v_0^2 k^4 = 1 - k^2$$

Собираем подобные члены

$$v_0^2 (1 - k^4) = 1 - k^2$$

Переписываем уравнение как решение для скорости внешнего обода и видим, что справа в равенстве есть сократимые члены

$$v_0^2 = \frac{1 - k^2}{1 - k^4} = \frac{1 - k^2}{(1 - k^2)(1 + k^2)}$$

Сокращаем

$$v_0^2 = \frac{1}{1 + k^2}$$

Извлекаем корень и находим значение скорости

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{1 + k^2}}$$

Очевидно, что пересечение, давление этих двух колец друг на друга может начаться, если их диаметры предельно близки, то есть, почти k = 1. Это соответствует тангенциальной скорости внешнего обода:

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{1+1}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \approx 0{,}7$$

Полученное решение означает, что, во-первых, наше допущение о *возможности* раскрутить диск оказалось правомерным. Во-вторых, мы обнаруживаем, что два соседних бесконечно тонких и бесконечно близких друг к другу слоя – обода начнут давить друг на друга только при скорости более 0,7 от скорости света. А это, в свою очередь, означает, что при раскручивании каждый обод уменьшает как длину своей окружности, так и соответствующий ей радиус. Тем самым здесь же мы обнаружива-

ем заблуждение в отношении сокращения спиц вращающегося колеса. Виртуальный радиус каждого обода при раскручивании колеса всегда короче радиуса обода сверху. То есть, внутренний обод не препятствует сокращению внешнего, сокращаясь всегда не менее чем внешний. Все авторы при формулировке парадокса явно заявляют, что обод сокращается, а спицы – нет. Мы же обнаружили, что, наоборот, каждый обод, каждый тонкий слой колеса сокращается и уменьшает свой собственный радиус. Эти сокращения точно такие же, как и сокращение длин их окружностей. Действительно, радиус внешнего из пары вращающегося обода испытал лоренцево сокращение до радиуса следующего обода. Но и этот радиус испытал сокращение. Приведённые выше вычисления показали, что внешний обод не может "догнать" внутренний, который тем самым не препятствует его сокращению.

Любое колесо, цилиндр мы можем представить как набор плотно насаженных друг на друга обручей. Этот набор слоёв составляет, образует *суммарную* толщину колеса или цилиндра, а по сути, является эквивалентом их радиуса или спиц, поэтому испытает такое же лоренцево сокращение, как и окружность. Подчеркнём: мы явно и непротиворечиво рассматриваем задачу в области применимости теории строго с точки зрения внешнего, неподвижного наблюдателя. Нам нет никакого дела до того, что видит движущийся на ободе наблюдатель, как выглядят его *неевклидова* линейка и его *неевклидовы* часы. Таким образом, сокращаясь, каждый обод не препятствует сокращению обода, который находится выше него. Точно так же обод, находящийся ниже него, не препятствует и его собственному сокращению, сжатию.

Поскольку рассмотренные ободы все вместе образуют сплошной диск колеса, то это колесо и в целом не ис-

пытывает никаких внутренних деформаций, препятствующих его сжатию, радиус колеса будет беспрепятственно уменьшаться. Утверждения всех авторов, включая и автора парадокса – Эренфеста – ошибочны: радиус колеса будет уменьшаться без каких-либо препятствий:

"... элементы радиуса не подвергаются никакому сокращению по сравнению с состоянием покоя" [46].

Сокращаясь по длине, такой "слоёный" обод будет одновременно уменьшать свой суммарный радиус кривизны. Но у обнаруженного сокращения, сжатия радиусов есть довольно странная особенность: это беспрепятственное сокращение возможно только до тангенциальной скорости внешнего обода, не превышающей 0,7 скорости света. Почему именно 0,7? Откуда, из каких физических особенностей колеса возникает это число? И что будет, если колесо раскрутить ещё быстрее? Впрочем, почему мы утверждаем, что спицы будут сокращаться, ведь в нашей модели спиц нет, колесо сплошное. А в колесе со спицами нет никаких "тонких ободов", между соседними спицами пустое пространство. Однако, как верно указано в работе Соколовского [38], нет никакой разницы между сплошным диском и диском со спицами. Лоренцеву сокращению подвержены все элементы, удалённые от центра на одинаковое расстояние. То есть, в этом случае "тонкий слой" представляет собой последовательность из "долек" спиц и пустого пространства между ними. Здесь может возникнуть недоуменное возражение: как же так, почему это каждая "долька" спицы сжимается вдоль окружности? Ведь у них рядом пустое пространство! Да, верно, пустое. Но лоренцеву сокращению подвержены все без исключения элементы, это не реальное физическое сокращение, это сокращение кажущееся, видимое внешнему наблюдателю. Как правило, при описании лоренцева сокращения всегда под-

черкивается: объект с точки зрения внешнего наблюдателя уменьшил свои размеры, хотя с точки зрения самого объекта с ним ничего не произошло.

Для пояснения этого тангенциального сжатия, утончения спиц представим себе движущуюся платформу, на которой с интервалом уложены, например, кирпичи. Внешнему наблюдателю будет казаться, что платформа сократилась. А что будет с интервалами между кирпичами? Кирпичи, разумеется, сократятся, но в случае неизменности интервала между ними, они просто вытолкнут друг друга с платформы. Однако на самом деле кирпичи и интервалы между ними сокращаются как один единый объект. Любой наблюдатель, движущийся мимо платформы, будет видеть её уменьшенную длину, в зависимости от относительной скорости, и уменьшенную длину объекта "кирпичи с интервалами". С самой же платформой, лежащими на ней кирпичами и интервалами между ними, как известно, ничего не произойдёт.

Так и в случае с колесом со спицами. Каждый отдельный радиальный слой колеса – обод будет представлять собой "слоёный пирог", состоящий из последовательных кусочков спиц и пространства между ними. Сокращаясь по длине, такой "слоёный" обод будет одновременно уменьшать свой радиус кривизны. В этом смысле полезно представить себе, что колесо сначала раскручено, затем замедлено до остановки. Что с ним будет? Оно просто вернётся в исходное состояние.

Уменьшение его размеров никак не связано с его физической деформацией, это размеры, видимые внешнему, неподвижному наблюдателю. С самим колесом при этом ничего не происходит. Отсюда, кстати, непосредственно и следует, что колесо может быть абсолютно твердым. Никаких усилий деформации к нему не прикладыва-

ется, изменение его диаметра не требует непосредственного физического сжатия материала колеса. Можно колесо раскручивать, затем замедлять сколько угодно раз: для наблюдателя колесо будет уменьшать свои размеры и вновь их восстанавливать. Но при одном условии: тангенциальная скорость внешнего обода колеса не должна превышать таинственной величины ≈ 0,7 от скорости света.

Очевидно, что при достижении этой скорости внешним ободом колеса, скорости всех нижележащих будут заведомо меньше. Следовательно, "волна" перекрытия начнётся с внешней части, и будет постепенно перемещаться внутрь колеса, к его оси. При этом если внешний обод будет раскручен до скорости света, перекрытие слоёв будет только до слоя, имеющего 0,7 исходного радиуса колеса. Все более близкие к оси слои сами по себе перекрывать друг друга не будут. Понятно, что это гипотетическая модель, поскольку пока неясно, что будет происходить со слоями, находящимися от оси дальше, чем $\sqrt{2}/2$ от исходного радиуса. Процесс сокращения радиусов слоёв и точка начала их пересечения показаны на диаграмме рис.4.3.

При увеличении тангенциальной скорости внешнего края диска, его слои – ободы уменьшают собственные радиусы в разной степени. Сильнее всего уменьшается радиус внешнего края – вплоть до нуля. На диаграмме видим, что обод, радиус которого равен десятой части от радиуса внешнего края диска, практически не изменяет своего радиуса. Это значит, что при сильной раскрутке внешний обод сократится до радиуса меньшего, чем внутренний, но как это будет выглядеть в реальности, пока неясно. Пока только очевидно, что деформация наступает лишь при скорости внешнего обода, превышающей $\sqrt{2}/2 \approx 0{,}71$ скорости света. До этой скорости все ободы сжимаются, не пересекая друг друга, без деформации плоскости диска,

внешний радиус которого при этом уменьшится до 0,71 от исходного значения. Чтобы наглядно показать эту точку, на диаграмме приведены два смежных внешних слоя обода, имеющие почти одинаковые радиусы. Это первые "кандидаты" на взаимное пересечение при раскручивании.

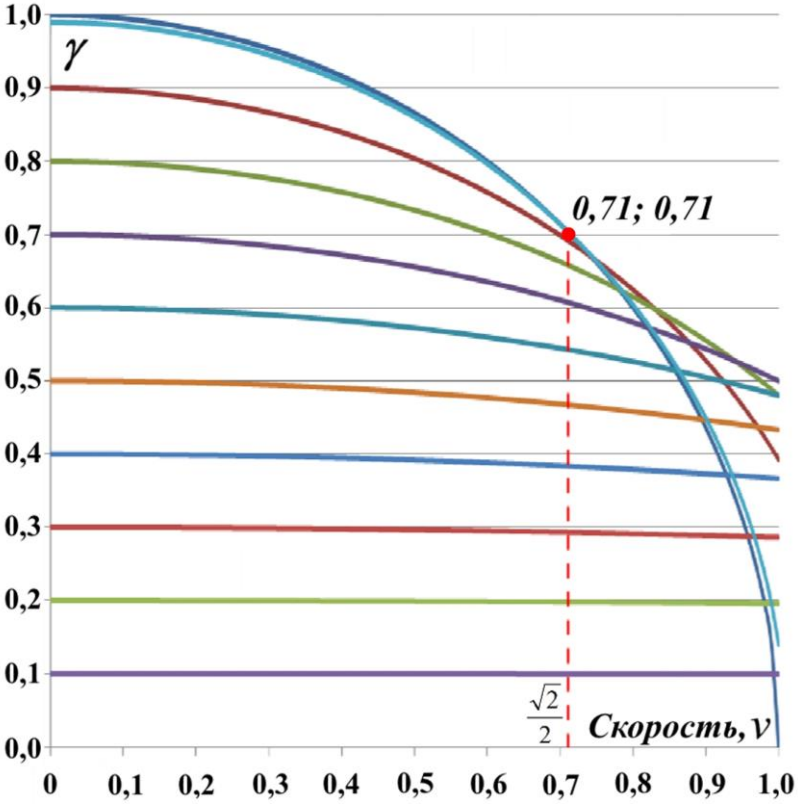

Рис.4.3. Степени сжатия радиусов ободов в зависимости от их удалённости от центра и скорости внешнего обода.

Если на диск нанести равномерно концентрические окружности, через равные интервалы, то в процессе его раскручивания для внешнего наблюдателя эти окружности будут располагаться с интервалами, равномерно уменьша-

ющимися от центра (практически исходная величина интервала) к периферии (уменьшающийся вплоть до нуля). Для того чтобы выяснить, что произойдёт с колесом после превышения внешним ободом скорости 0,7 от скорости света, изменим форму колеса так, чтобы слои не мешали друг другу. Сдвинем слои колеса вдоль оси, превратив колесо в тонкостенный конус, воронку. Теперь при сжатии каждого слоя под ним нет других слоёв, и ничто не мешает ему сжиматься сколько угодно. Начнём раскручивать конус из состояния покоя до скорости 0,7 от скорости света и затем до скорости света, после чего уменьшим скорость в обратной последовательности. На следующем рисунке этот процесс показан в виде нескольких кадров из анимации.

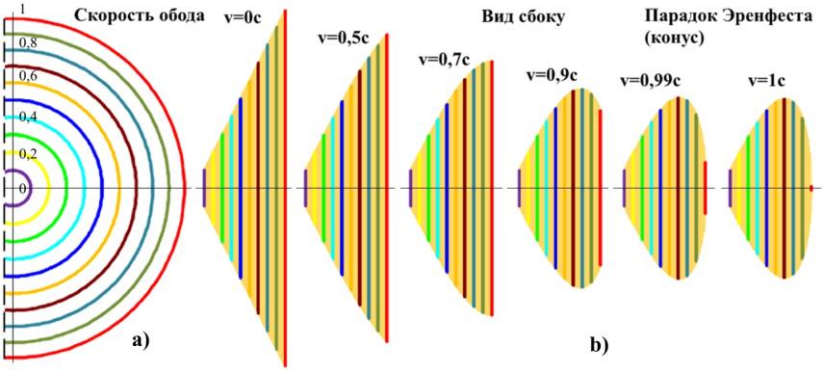

Рис.4.4. Лоренцева деформация конуса при раскручивании. a) вид правой половины конуса вдоль оси; b) кадры из анимации [56], соответствующие виду конуса "с ребра" при различных скоростях вращения

На рисунке конус показан в двух видах: вдоль оси, как всегда изображается парадокс колеса, и перпендикулярно к оси, вид сбоку, на котором виден "профиль" конуса. На рисунке рис.4.4a, на виде вдоль оси конуса мы видим поведение каждого обода конуса. Каждый из этих слоёв изображен цветной линией. Эти линии повторяют соот-

ветствующие окружности, ободы, для которых построены графики на диаграмме рис.4.3. Это позволяет увидеть каждый обод независимо от других и то, как внешний обод уменьшает свой радиус сильнее, чем внутренние. На рисунке рис.4.4b показаны его 6 состояний, виды конуса сбоку, соответствующие различным скоростям вращения.

Следует особо отметить следующие очевидные обстоятельства. Согласно теории относительности деформации диска или показанного конуса как таковой быть не должно. Все изменения в его форме – это видимость для внешнего наблюдателя, с самим диском и конусом при этом ничего не происходит. Следовательно, он вполне может быть из абсолютно твердого материала. Изделия из такого материала не сжимаются, не растягиваются, не изгибаются и не скручиваются – они не подвержены никакой геометрической деформации. Поэтому *видимость*, относительность деформации и допускает раскручивание этого диска до световой скорости. Внешний наблюдатель будет видеть, как показано на кадрах, вполне логичную, хотя и довольно странную картину. Внешний обод конуса уменьшается до скорости 0,7c, после чего продолжает сжиматься дальше, причем все ободы сокращаются синхронно, не "налезая" диаметрами друг на друга. При этом внутренний обод, который имел меньший радиус, оказывается с внешней стороны, снаружи.

Однако, это вполне очевидное явление. После достижения этой скорости внутренний обод, который имел меньший радиус, оказывается с внешней стороны. По раскраске на кадрах видно, как внешние ободы приближаются к центру диска, превращая конус в своеобразный замкнутый сосуд, амфору. Но нужно понимать, что при этом собственно конус остаётся таким, как и был изначально. Если уменьшить скорость его вращения, то все слои вернутся на

свои визуальные места, и амфора для неподвижного наблюдателя вновь превратится в конус.

Это кажущееся перемещение слоёв, ободов вследствие сжатия к центру диска с точки зрения внешнего наблюдателя никак не связано с реальной геометрической деформацией самого диска. Потому-то и нет никаких физических ограничений для того, чтобы конус был изготовлен из абсолютно твердого материала. Но это относится к конусу. А как поведёт себя плоское колесо, в котором все слои находятся всё-таки друг над другом? И в этом случае неподвижный наблюдатель увидит весьма странную картину. После того как внешний обод диска уменьшится на скорости 0,7c, он сделает попытку дальнейшего сжатия. При этом внутренний обод, который имел *меньший* радиус, будет сопротивляться этому. Здесь мы напомним очевидное условие – при любой диск всё время должен оставаться плоским.

При всей странности картины можно достаточно легко догадаться о том, что произойдёт дальше. Нужно просто вспомнить рассмотренную выше картину с тонкостенным колесом, насаженным на неподвижную ось. Отличие лишь в том, что в рассмотренном случае неподвижная ось не испытывает лоренцева сокращения. Здесь же слои, он нуля до 0,7 от радиуса колеса, сами испытали сжатие и несколько уменьшили свои размеры. Не смотря на это внешние слои их всё равно "догнали". Теперь лоренцева сжатия внутренних слоёв недостаточно, они не дают внешним продолжить собственное сжатие. Как варианты мы можем выделить три сценария дальнейшего развития событий, не принимая во внимание действие центробежных сил и тот факт, что для такой раскрутки потребуется бесконечно мощный двигатель.

Варианты вращения

Обычный (хрупкий) материал.

Для обычного материала при взаимодействии слоёв-ободов внутренние слои испытывают деформацию сжатия, а внешние – растяжения. Следовательно, более вероятен разрыв внешних ободов, чем упругое уменьшение объёма внутренних. Это очевидно, поскольку материал их один и тот же. Впрочем, следует заметить, что это очевидно не для всех. Один из читателей выразил по этому поводу недоумение, что внешние слои не *сжимаются*, а *растягиваются*, причем акцентировал эти слова. Однако достаточно просто рассмотреть, например, футбольный мяч. Внутри него воздух *сжат*, а кожа мяча – *растянута*. То, что внешний обод растягивается, вовсе не означает отсутствие релятивистского сжатия, поскольку он растягивается именно вследствие последнего. Иначе говоря, в данном случае происходит *относительное* сжатие-растяжения: на внутренние слои действует сжимающая сила внешних слоёв, поэтому на сжимающий слой действует ответная растягивающая сила.

Другой пример. Если растянуть обычный резиновый шнур, то как можно описать его состояние? Шнур, очевидно, стремится сжаться (наподобие релятивистского сжатия), однако при этом он испытывает и указанное усилие растяжения. Еще более близким примером является сжатие нагретой и закрепленной за концы металлической струны. Остывая, она стремится сократиться и при этом испытывает усиливающееся натяжение. Такой же принцип используется в машиностроении. Нагретое (расширившееся) кольцо надевают на ось. Остывая, кольцо *сжимается*, уменьшает свои размеры (почти релятивистски), но ось препятствует этому, вызывая в кольце усилие *растяже-*

ния. На рисунке рис.4.5 показан процесс разрушения хрупкого кольца. Здесь и на последующих рисунках раскраска полос, слоёв сделана наподобие "тельняшки" – светлые цвета чередуются с более тёмными. В этом случае при сжатии диска на его разрезе лучше видно, что слои не пересекают друг друга, а складываются "гармошкой".

На рисунке в красный цвет перекрашены слои (ободы), которые приходят в тесное соприкосновение, с силой давят друг на друга. В этом случае их материал испытывает как усилие на сжатие (внутренние слои), так и усилие на растяжение (внешние слои). При некоторых усилиях внешние слои, что более вероятно, просто будут разорваны, и разлетятся в разные стороны. Как видно на рисунке, условия для разрыва наступают после достижения предельной скорости 0,7с.

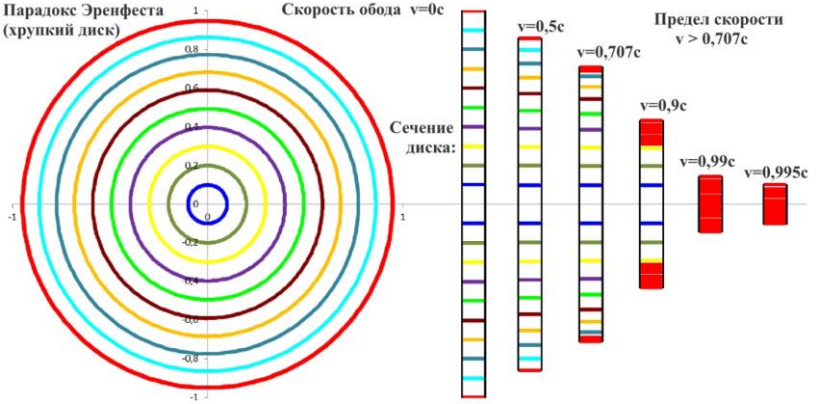

Рис.4.5. Деформация диска из твердого материала [56]

Но особо следует отметить, что объект разрушает не собственно лоренцево сокращение, а вызванные им внешние силы, которые стремятся вернуть этот объект в исходное состояние. Что произойдёт, если вращающееся колесо в виде кольца или обруча насажены на толстую ось? Колесо будет стремиться уменьшить свой диаметр, но

ось *препятствует* этому. То есть виртуальное релятивистское сокращение встречает вполне *реальное* физическое сопротивление. Кто эту силу сопротивления создаёт? Тот, кто приводит колесо во вращение. Его энергия и приводит к деформации колеса.

Точно такое явление наблюдается в парадоксе Белла с ускоряющимися ракетами, связанными тросом. Строго доказано, что трос будет физически, *реально* растянут вплоть до разрыва. То есть, якобы "виртуальное" сокращение ведёт к *механическому* разрыву. Представим *уже сократившийся* релятивистски трос. Затем *мы физически, насильно возвращаем ему исходную длину*. И это уже никакая не виртуальная, не иллюзорная, а реальная внешняя сила. Именно она и ведёт к разрыву. Можно сказать и иначе, движители, ракеты, ускоряющие трос и фактически находящиеся в его системе отсчета, препятствуют его сокращению, вытягивают его, чтобы *внешний* наблюдатель видел его длину *прежней*.

Абсолютно эластичный материал.

Для такого материала картина немного иная. Разрыв слоёв невозможен, но возможно их бесконечное сжатие. Следовательно, при скорости внешнего обода, близкой к скорости света, для внешнего наблюдателя колесо может превратиться в бесконечно малую точку. Это в том случае, если на сжатие будет необходимо меньшее усилие, чем на растяжение. Иначе форма колеса при равенстве этих сил будет оставаться неизменной. После прекращения вращения колесо примет свой первоначальный размер без каких бы то ни было повреждений. Эластичные слои – ободы складываются в виде "гармошки", не пересекая друг друга [56]. Диск, видимо, должен при сжатии принять форму бублика, поскольку внутренние слои при сжатии увеличи-

ваются в ширину, вдоль оси. При достижении скорости внешнего обода, равной скорости света, центр диска сожмётся в точку, выдавив по бокам два тонких пузыря.

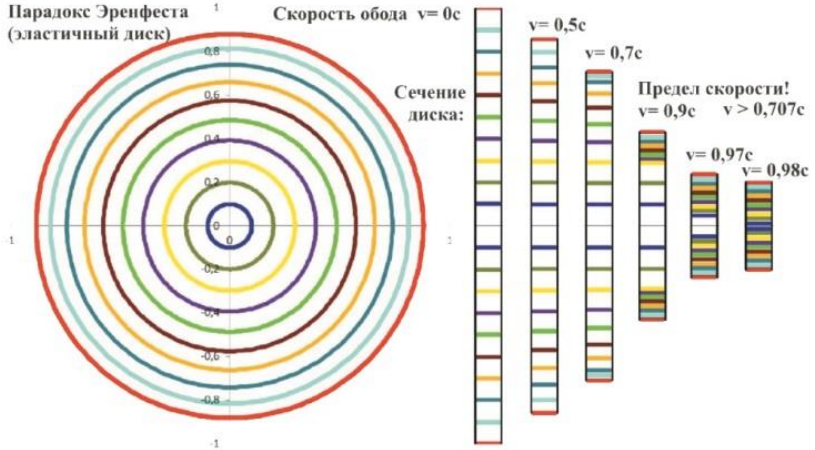

Рис.4.6. Лоренцева деформация диска из эластичного материала. Справа приведены кадры из анимации [56] вида диска "с ребра" для разных скоростей вращения

И вновь приведём соображения нашего читателя по этому поводу. На его взгляд является противоречием, что при радиальном сокращении колеса, уменьшении его диаметра внешний наблюдатель должен увидеть источник света, находящийся позади колеса, и закрываемый им до начала вращения. Из этого он делает вывод, по сути, меняя местами причину и следствие: поскольку источник *не может стать видимым*, то, следовательно, и сокращения диаметра также быть не может. Причиной видимости источника, по его мнению, может быть лишь прозрачность колеса, аберрация или некие пока несуществующие теории. Но это ошибочное мнение, никакого парадокса нет, поскольку источник действительно *будет виден* и именно по причине уменьшения диаметра колеса. Приведём похожий пример для линейного движения. Если есть перего-

родка с отверстием и задвижка, в точности равная ему по площади, то свет из-за перегородки не достигнет наблюдателя. Но если задвижка будет двигаться и испытает лоренцево сокращение, то не будет ни одного момента времени, когда она сможет перекрыть свет *полностью*. Будет наблюдаться примерно такой же эффект, как при прохождении экзопланеты на фоне материнской звезды. Будет уменьшение яркости светового потока до некоторой *ненулевой* величины.

Как вариант, можно произвести выстрел над колесом с превышением, чуть более 0,7 от его диаметра, и пуля его не заденет. Более того, можно на вращающееся колесо надеть трубу, диаметр которой меньше диаметра колеса в неподвижном состоянии, но чуть больше того, до которого колесо уменьшилось. И труба не будет мешать колесу вращаться. Но если колесо замедлится, то, увеличиваясь в диаметре, оно придёт в контакт с трубой со всеми возможными последствиями – трение с искрами, разрушение, резкое торможение, прокручивание трубы и тому подобное.

Далее можно заметить, что читатель, судя по всему, не обратил внимания на очень важные моменты, что видно, в частности, из его вывода, будто приведённые в статье вычисления касаются *только* тангенциальной скорости и не затрагивают радиального направления. Но в статье приведены самые развернутые доказательства наличия именно *радиального* сокращения, а расчеты прямо касаются *всей* окружности, состоящей, разумеется, из бесконечного числа бесконечно малых отрезков, релятивистское сокращение которых ведёт к соответствующему укорочению и всей окружности. Его ошибочное мнение опирается на то, что все элементарные отрезки движутся по *разным* направлениям, которые, разумеется, не параллельны друг другу. Следовательно, как он считает, применить к такой "со-

ставной" окружности уравнение Лоренца нельзя. Вот только он не заметил, что тангенциальные скорости каждого из отрезков являются строго лоренцевыми относительно находящегося рядом неподвижного участка внешней ИСО. Интегральная сумма всех этих частных укорочений отрезков и дают в итоге эквивалентное лоренцево сокращение всей окружности.

Абсолютно твердый материал.

Для абсолютно твердого материала колеса, который не сжимается, не растягивается и не изгибается, картина также будет отличаться от предыдущих. Внешние ободы не могут разорваться, а внутренние – сжаться. Поэтому, разрушения ни тех, ни других не будет, но будет стремительно возрастать сила их давления друг на друга после того, как будет достигнута предельная скорость вращения.

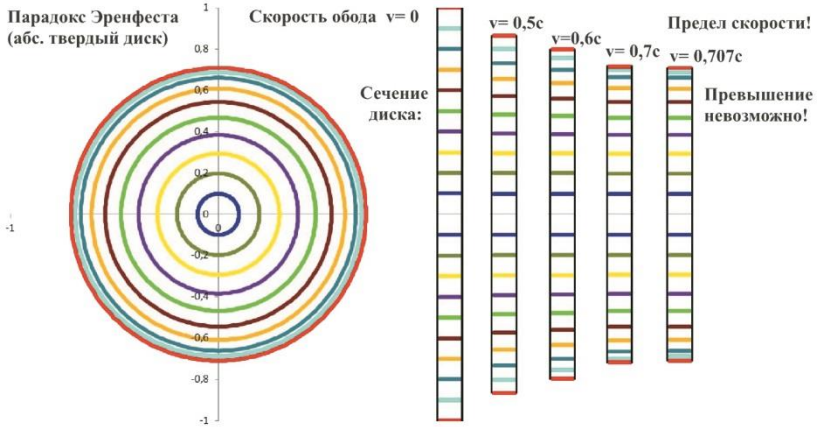

Рис.4.7. Лоренцева деформация диска из абсолютно твердого материала. Справа приведены кадры из анимации [56], вид диска "с ребра" при различных скоростях его вращения

Но за счет каких источников возникает эта сила? Очевидно, за счет движителя, приводящего колесо во вращение. Следовательно, этот движитель должен будет прикладывать всё большее и большее усилие вплоть до бесконечности. Понятно, что это невозможно, и мы приходим к выводу: при достижении внешним ободом абсолютно твердого колеса тангенциальной скорости $\sqrt{2}/2$ от скорости света дальнейшего увеличения этой скорости не будет.

Приводной двигатель словно упрётся в стену. Это примерно то же самое, как бежать, например, за тракторной тележкой, прицепом. Можно бежать с любой скоростью, но при достижении тележки скорость будет сразу же ограничена её скоростью, скоростью трактора.

Почему √2/2?

Представленные вычисления показали, что величина скорости внешнего обода, при которой начинается его деформация, то есть давление слоёв друг на друга, имеет довольно странное значение – $\sqrt{2}/2$. Сразу же мы задались вопросом: почему именно 0,7? Откуда, из каких физических особенностей колеса возникает это число? Замечаем, что эта величина равна синусу или косинусу угла в 45^{o}. Если посмотреть на диаграмму рис.4.1, можно заметить, что график зависимости лоренцева коэффициента от тангенциальной скорости внешнего обода является окружностью. Действительно, по определению этот график описывается уравнением, которое также прямо следует из нижнего уравнения системы (4.2), для радиуса $R_0=1$:

$$\gamma = \sqrt{1-v^2} \qquad (4.4)$$

где

γ – коэффициент Лоренца;

v – скорость внешнего обода колеса.

Преобразуем уравнение (4.4):

$$\gamma^2 = 1 - v^2$$

$$\gamma^2 + v^2 = 1$$

Это уравнение окружности с радиусом 1. Далее, проверив остальные графики, мы обнаружим, что все они являются эллипсами:

$$\gamma = k\sqrt{1-k^2v^2} \quad \rightarrow \quad \frac{\gamma^2}{k^2} + k^2v^2 = 1 \quad \rightarrow \quad \frac{\gamma^2}{k^2} + \frac{v^2}{1/k^2} = 1$$

где k – меньшая полуось эллипса, поскольку $k \le 1$, а 1/k – его большая полуось. Произведение полуосей эллипса равно единице.

Внутреннее касание соседних ободов начинается тогда, когда их радиусы становятся равными (4.2). Как видно на следующем рисунке, это касание соответствует пересечению соответствующего эллипса и внешней окружности.

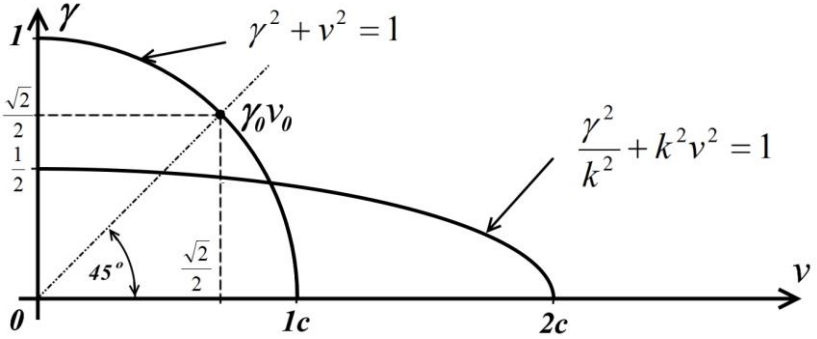

Рис.4.8 Релятивистское касание слоёв колеса

Координаты точки пересечения окружности и эллипса являются решением системы:

$$\begin{cases} \gamma^2 + v^2 = 1 \\ \dfrac{\gamma^2}{k^2} + k^2v^2 = 1 \end{cases}$$

Решая эту систему, находим:

$$\gamma^2 = \frac{k^2(1-k^2)}{1-k^4}$$

Из первого уравнения системы находим квадрат скорости:

$$v^2 = 1-\gamma^2 = 1-\frac{k^2(1-k^2)}{1-k^4} = \frac{1-k^2}{1-k^4}$$

Если мы произведем сокращение в этих дробях, то должны исключить из решений значение k = 1, соответствующее *единственному* слою, поэтому:

$$\begin{cases} \gamma^2 = \dfrac{k^2}{1+k^2} \\ v^2 = \dfrac{1}{1+k^2} \end{cases}$$

Анализ системы решений показывает, что точки пересечения эллипсов всех частных слоёв колеса "движутся" снизу вверх по окружности от нулевого значения $R_i = 0$ вплоть до касания окружности изнутри, без слияния с нею, поскольку $k \neq 1$. Из системы также видно, что значения v и γ при этом в пределе и достигают значения $\sqrt{2}/2$:

$$\lim_{k\to 1}\gamma = \lim_{k\to 1} v = \lim_{k\to 1}\sqrt{\frac{k^2}{1+k^2}} = \lim_{k\to 1}\sqrt{\frac{1}{1+k^2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

Тем не менее, все-таки не вполне ясно, почему предел равен именно этой величине? Однако эллиптический характер графиков рис.4.4 сам даёт подсказку. При увеличении коэффициента k от нуля до единицы эллипсы "округляются", сливаясь, в конечном счете, с окружностью графика внешнего обода колеса. А что если и график внешнего обода тоже является неким пределом подобных эллипсов?

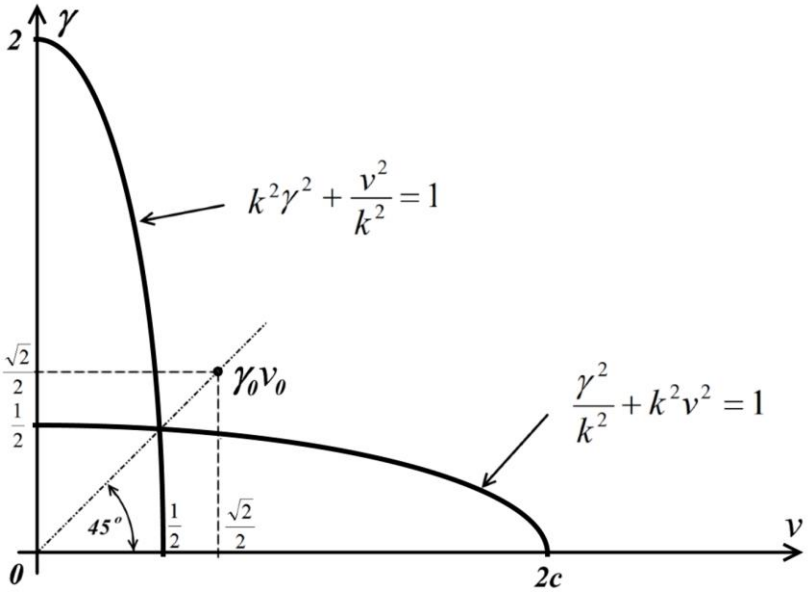

Рис.4.9. Пересечение ортогональных эллипсов

В этом случае его эллипсы должны быть ортогональными, то есть, его полуоси симметричны полуосям эллипсов внутренних слоёв:

$$\begin{cases} k^2\gamma^2+\dfrac{v^2}{k^2}=1 \\ \dfrac{\gamma^2}{k^2}+k^2v^2=1 \end{cases} \qquad (4.5)$$

Графически эти эллипсы будут иметь вид, как показано на рисунке рис.4.9. Решая новую систему (4.5), находим:

$$v^2=k^2\frac{1-k^4}{1-k^8}$$

Находим значение второй переменной:

$$\gamma^2 = k^2(1-k^2\nu^2)$$

$$\gamma^2 = \nu^2 = k^2\frac{1-k^4}{1-k^8}$$

Как и выше здесь мы исключаем решение k = 1, соответствующее слиянию эллипсов, поскольку мы рассматриваем всегда *два* сблизившихся эллипса. Поэтому:

$$\gamma^2 = \nu^2 = \frac{k^2}{1+k^4}$$

Полученное решение означает, что точки пересечения всех эллипсов всегда находятся на биссектрисах квадрантов (рис.4.9). Исходя из этого, мы с полным основанием можем присвоить это же значение и полному *слиянию* эллипсов:

$$\lim_{k\to 1}\gamma = \lim_{k\to 1}\nu = \lim_{k\to 1}\sqrt{\frac{k^2}{1+k^4}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

Это значение предельное, максимальное, поскольку это точка пересечения с биссектрисой квадранта *окружности* единичного радиуса. Из этого же мы можем сделать вывод: это значение соответствует и случаю пересечения окружности и "растущих" эллипсов внутренних слоёв, считая, что окружность – это предварительно "выросший" ортогональный эллипс, соответствующий графику скоростей внешнего обода вращающегося круга. Поскольку все точки пересечения эллипсов лежат на биссектрисах, имеющей угол наклона 45^o, то координаты точки её пересечения с окружностью единичного радиуса определяются как $\sin 45^o = \cos 45^o = \sqrt{2}/2$. Очевидно, что для одинакового коэффициента полуосей – k ортогональных эллипсов точки их пересечения всегда лежит на биссектрисах. В случае разных коэффициентов точки пересечения могут "двигать-

ся" по произвольным кривым, заканчивающимся на биссектрисах.

Парадокс поезда Эйнштейна

Напомним, что в оригинальной, исходной формулировке парадокса Эренфеста речь шла не о колесе и спицах, а о сплошном цилиндре. Однако, это не единственный вариант формулировки парадокса. Есть менее известный вариант в виде "поезда Эйнштейна". Этот вариант показан в научно-популярном документальном фильме EBS "Физика света" [41]. Серия фильмов из 6 частей исследует истинную природу света и пытается предугадать самые невероятные теории физики, начиная рассказ с истоков – с теории относительности Альберта Эйнштейна.

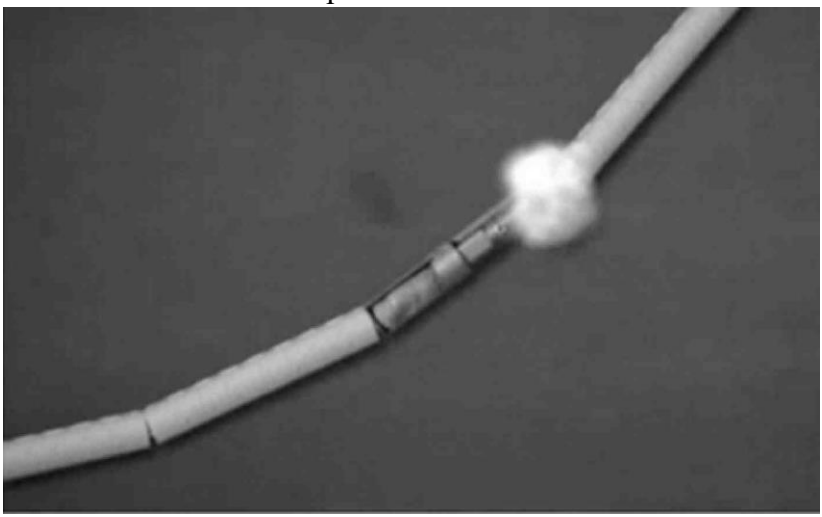

Рис.4.10. Окружность можно представить в виде ряда соединенных сегментов, каждый из которых – вагон (светлый цвет) поезда или локомотив (темный цвет). "Кусок ваты" – это дым из трубы (паровоза) [41, 35:05]

Кадры фильма (в скобках – время кадров в минутах) сопровождает соответствующий дикторский текст:

"Ускорение – серьезная проблема. Ускорение – результат либо изменения скорости, либо направления. Наиболее распространенный тип ускорение возникает в результате кругового движения. Окружность можно представить в виде ряда соединенных сегментов. Предположим что каждый сегмент это поезд" [41].

Парадокс возникает, как указывают авторы фильма, если рассматривать быстрое движение поезда по кругу:

"Согласно специальной теории относительности поезда при вращения становятся короче (кадр 35:20). Чем быстрее они несутся, тем короче должны становиться. Диаметр круга не изменяется, не изменяется и значение числа π. Почему же сокращается длина окружности (кадр 35:42)?"

Решение, предложенное Эйнштейном, как говорится в фильме, заключается в искривлении пространства и изменении значения числа π:

"Эйнштейн применил открытие Римана к решению проблемы кругового движения. Поезда, движущиеся по кругу, становятся короче, потому что искривляется пространство. А в таком пространстве иным становится значение числа π" [41, 41:05].

Такое решение можно называть традиционным, оно встречается в том или ином виде и у других исследователей и в интернете. И вот на что следует обратить внимание. Пространство, как принято считать, может искривиться только с точки зрения пассажиров поезда, поскольку именно они движутся ускоренно. Но сокращение длины поезда видит *внешний* наблюдатель, для которого никакого искривления пространства нет, а сокращение – есть, для которого нет абсолютно никакой разницы, движутся ли

вагоны прямолинейно или по окружности. Сокращение длины поезда никак не может привести к сокращению длины железнодорожных путей. Они находятся в неподвижной инерциальной системе, а сила, укорачивающая поезд, к этим путям не приложена.

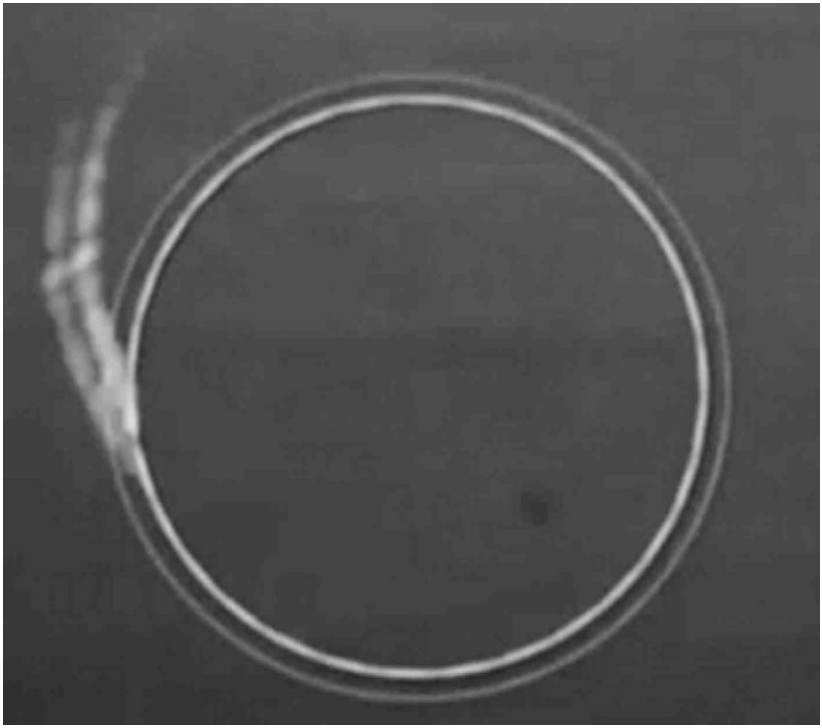

Рис.4.11. Чем быстрее движется поезд, тем короче он становится. Кадр из фильма [41, 40:45] показывает движение состава по кругу. Светлый шлейф – дым из трубы паровоза

Именно такой второй вариант рассматривал Эйнштейн и в работе "К электродинамике движущихся тел". Там замедление темпа хода часов на экваторе никак не связывалось с искривлением пространства времени, тем более что об этом явлении на тот момент, в 1905 году во-

обще ничего не было известно. Замедление темпа хода часов связывалось напрямую с лоренцевым замедлением времени, изначально сформулированным для прямолинейного движения.

Сокращение поезда с точки зрения неподвижного наблюдателя прекрасно вписывается в вариант парадокса часов, движущихся по окружности. Нужно лишь использовать преобразования Лоренца не для замедления хода часов, а для сокращения длины отрезка. Как следствие парадокс с поездом становится мнимым – длина его сокращается без какой-либо связи с числом π. При этом следует помнить, что движется поезд, а не рельсы. С ними, понятно, ничего не происходит. Если поезд не замкнут, то есть, последний вагон не прицеплен к передней части локомотива, идущего в этом случае следом за этим вагоном, а движется на некотором удалении от него, то вообще не будет наблюдаться никаких изменений *диаметров* окружностей – ни рельсов, ни поезда.

Сокращение *длины* поезда будет приводить к тому, что локомотив, догоняя свой последний вагон, тем не менее, будет все больше удаляться от него, всегда оставаясь на рельсах. Если же поезд изначально замкнут, то его лоренцево сокращение приведет к тому, что поезд просто соскочит с рельсов внутрь круга. Его более короткой длине теперь будет соответствовать более короткая длина окружности, у которой радиус, естественно, меньше, В данном случае у колеса-поезда никаких спиц нет, но и они не были бы помехой. Нет никаких оснований для изменений числа π.

Изгибающий эффект Лоренца

Помимо обнаруженного подобия поперечного эффекта Лоренца можно наблюдать еще более интересный – косвенный *изгибающий эффект* Лоренца, когда помимо сокращения длины движущегося тела происходит его *релятивистский* изгиб. Рассмотрим вариант парадокса поезда Эйнштейна, но вместо рельсов и гибкого состава из вагонов возьмем сегмент жесткой дуги, вращающейся по окружности (рис.4.12).

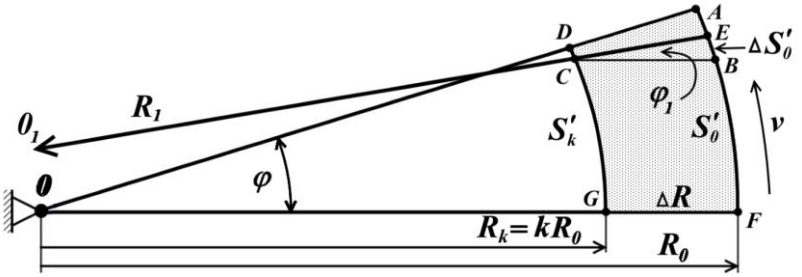

Рис.4.12. Вращение тонкой дуги окружности

Очевидно, что, как и в случае вращающегося колеса, внешняя часть дуги испытает большее лоренцево сокращение, чем внутренняя. Однако, также очевидно, что из-за отсутствия жестких радиусов вращение не приведёт к конфликту собственных радиусов этих частей, а вызовет лишь изменение линейных или угловых размеров сегментов. Результирующий характер деформации дуги пока неясен, но можно предположить, что она будет напоминать поведение биметаллической пластины при изменении её температуры. Если традиционный незамкнутый поезд Эйнштейна в процессе движения просто укоротится, то жесткая конструкция дуги, как и биметаллической пластины, видимо, должна привести к её деформации, изгибу,

причём во внешнюю сторону, поскольку внешняя часть дуги уменьшает свою длину сильнее, чем внутренняя.

Рассмотрим вариант достаточно тонкой дуги, имеющей внешний радиус R_0, внутренний $R_k = kR_0$, где $k \approx 1$, но $k \neq 1$, и небольшой угол дуги φ (рис.4.12). Согласно этим условиям:

$$\frac{R_k}{R_0} = \frac{S_k = \varphi R_k}{S_0 = \varphi R_0} = \frac{kR_0}{R_0} = k$$

После раскручивания дуги её длина уменьшилась, причем внутренняя сторона сократилась меньше, чем внешняя. Подобно эффекту биметаллической пластины это ведёт к изгибу дуги. Новый радиус кривизны определяем по точке пересечения линий, соединяющих края дуг. Угол φ_1 между новыми радиусами кривизны дуги соответствует соотношению:

$$tg\varphi_1 \approx \frac{\Delta S_0'}{\Delta R}$$

Пометим характерные точки дуги буквами A...G и запишем соотношения для длин и углов:

$$\Delta R = GF = R_0(1-k)$$

Угол φ_1 = ECB. Теперь найдем величину нового радиуса дуги $R_1 = 0_1F = 0_1E$.

$$\frac{0_1F}{GF} \approx \frac{EF}{EB}$$

Из чего находим этот новый радиус дуги

$$0_1F = R_1 = \frac{GF \times EF}{EB} = \frac{\Delta R \times \Delta S_0'}{S_0' - S_k'}$$

$$R_1 = \frac{R_0(1-k) \times S_0'}{S_0' - S_k'} = \frac{R_0(1-k) \times S_0\sqrt{1-v^2}}{S_0\sqrt{1-v^2} - kS_0\sqrt{1-k^2v^2}}$$

Сократив, получаем соотношение:

$$R_1 = R_0 \frac{(1-k)\times\sqrt{1-v^2}}{\sqrt{1-v^2}-k\sqrt{1-k^2v^2}}$$

Полученное соотношение можно назвать *уравнением изгибающего эффекта Лоренца*, поскольку оно определенно описывает изменение кривизны, изгиба дуги вследствие лоренцева эффекта при её движении:

$$R_1 = R_0 \frac{1-k}{1-\dfrac{k\sqrt{1-k^2v^2}}{\sqrt{1-v^2}}} \qquad (4.6)$$

Следует понимать, что этот эффект изгибания такой же *косвенный*, как и поперечный эффект Лоренца, поскольку изгибание дуги происходит вследствие *обычного* лоренцева сокращения движущихся тел. Заметим, что правое слагаемое в знаменателе нам уже встречалось – (4.3). При стремлении коэффициента k к единице ($k \neq 1$) оно обращается в единицу при величине скорости $v_0 = \sqrt{2}/2$. Рассмотрим четыре интервала значений скорости вращения дуги. На интервале $v < v_0$ дуга имеет искривление того же знака, что и исходное, поскольку $R_1 > 0$. Действительно, найдем предел отношения правых слагаемых в дроби:

$$\lim_{k\to 1} \frac{k}{\dfrac{k\sqrt{1-k^2v^2}}{\sqrt{1-v^2}}} = \lim_{k\to 1} \frac{\sqrt{1-v^2}}{\sqrt{1-k^2v^2}} \le 1$$

Результат означает, что числитель в (4.6) стремится к нулю медленнее, чем знаменатель, поэтому вся дробь положительна и *стремится* к бесконечности, не достигая её, поскольку правое слагаемое в знаменателе равно единице только при $v = v_0$, не входящей в рассматриваемый интервал. При скорости $v = v_0$ новый радиус кривизны R_1 обращается в бесконечность, то есть, дуга превращается в

прямую линию. Чтобы показать это преобразуем правое слагаемое в знаменателе для v_0:

$$\frac{k\sqrt{1-k^2v^2}}{\sqrt{1-v^2}} = \frac{k\sqrt{1-\frac{k^2}{2}}}{\frac{1}{\sqrt{2}}} = k\sqrt{2-k^2} > k$$

Это неравенство совершенно очевидно, поскольку при k < 1 величина под корнем всегда больше единицы. Следовательно, при стремлении k к единице знаменатель стремится к нулю быстрее, чем числитель, поэтому дробь в выражении для R_1 обращается в бесконечность, то есть, $R_1 \equiv \infty$. На открытом интервале скорости вращения $v > v_0$ и отношении радиусов дуги k < 1, новый радиус кривизны становится отрицательным $R_1 < 0$, то есть, дуга приобретает искривление, противоположное исходному. Мы не будем искать предела отношения правых слагаемых в дроби, а просто вычислим некоторые значения радиуса R_1. Сначала для k = 0,99 и скорости v, близкой, но все-таки большей, чем скорость v_0:

$$R_1 = R_0 \frac{1-0{,}99}{1-\frac{0{,}99\sqrt{1-0{,}99^2\times 0{,}72^2}}{\sqrt{1-0{,}72^2}}} \approx -8{,}9R_0$$

Затем вычислим радиусы для нескольких равных значений скорости и коэффициента $k = v$. Для этого соответственно упростим выражение:

$$R_1 = R_0 \frac{1-k}{1-\frac{k\sqrt{1-k^2v^2}}{\sqrt{1-v^2}}} = R_0 \frac{1-k}{1-k\sqrt{\frac{1-k^4}{1-k^2}}} = R_0 \frac{1-k}{1-k\sqrt{1+k^2}}$$

Теперь вычислим три значения радиуса R_1:

$$k = 0{,}9 \quad R_0 \frac{0{,}1}{1-0{,}9\sqrt{1+0{,}81}} \approx -\frac{0{,}1}{0{,}2}R_0 = -\frac{1}{2}R_0$$

$$k = 0{,}99 \quad R_0 \frac{0{,}01}{1-0{,}99\sqrt{1+0{,}99^2}} \approx -\frac{0{,}01}{0{,}4} R_0 = -\frac{1}{40} R_0$$

$$k = 0{,}999 \quad R_0 \frac{0{,}01}{1-0{,}999\sqrt{1+0{,}999^2}} \approx -\frac{0{,}001}{0{,}4} R_0 = -\frac{1}{400} R_0$$

Как видим, новый отрицательный радиус R_1 при увеличении скорости вращения и уменьшения толщины дуги стремится к нулю, то есть, дуга фактически сворачивается в точку.

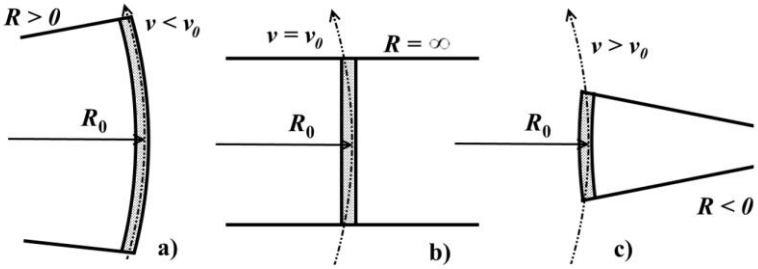

Рис.4.13. Искривление дуги при вращении

На рисунке рис.4.13 показаны рассмотренные три варианта изгибания вращающейся дуги. Радиус, по которому вращается дуга, равен R_0, а R – радиус кривизны вращающейся дуги. Штрих – пунктирной линией обозначена траектория, по которой движется дуга. В заключение заметим, что однослойная дуга, то есть, дуга, имеющая нулевую толщину $k \equiv 1$, свою кривизну не изменяет независимо от скорости: $R_1 \equiv R_0$:

$$R_1 = R_0 \frac{1-k}{1-\dfrac{k\sqrt{1-k^2v^2}}{\sqrt{1-v^2}}} = R_0 \frac{1-k}{1-k\sqrt{\dfrac{1-v^2}{1-v^2}}} = R_0 \frac{1-k}{1-k} \equiv R_0$$

В рассмотренных примерах величину $(1 - k)$ можно рассматривать как условную толщину слоя, дуги. И здесь следует заметить, что, по всей видимости, колесо со спи-

цами и сплошное колесо в формализме парадокса Эренфеста не вполне тождественны, хотя есть иное мнение:

"... с принципиальной точки зрения ничто не изменится также и в том случае, если колесо со спицами будет заменено сплошным диском" [38, с.128].

Если сплошное колесо разрезать по радиусу хотя бы в одном месте, то, видимо, при его вращении будет наблюдаться эффект, как при поджаривании кружочка колбасы – угол разреза будет просто увеличиваться. Если же колесо со спицами не имеет разреза, тогда, вероятно, будут наблюдаться также и общеизвестные варианты парадокса: вследствие эффекта удавки колесо может изогнуться в "чашу" [38, с.128, рис.57] или как показано выше на нашем рисунке рис.4.4.

При сохранении его плоскостности спицы будут ободом либо радиально сжаты, либо изогнуты как галактические рукава или наподобие свастики, как показано на рисунке [34]. К радиальному сокращению спиц колеса приводит их *стягивание внешним ободом*, испытывающим лоренцево сокращение. Отсутствие такого обода означает и отсутствие кольцевого стягивания и, соответственно, радиального сокращения спиц. Таким образом, раскручивание колеса, состоящего из одних только спиц, очевидно, приведёт к их утончению, но не укорочению. Однако к классическому парадоксу Эренфеста и к нашему решению его это не имеет никакого отношения, поскольку в рассмотренных вариантах радиус вращения сегмента обода принудительно задан неизменным.

В официальной рецензии на один из вариантов данной статьи можно обнаружить довольно завуалированную подмену понятий, видимо, не умышленную. При этом заметим, что этот довод дословно совпадает с формулировкой Ландау-Лившица [24, с.309]. Этот довод и в рецензи-

руемой статье и здесь выше аргументированно опровергается. Довольно странно, что рецензент приводит в качестве ответного опровержения то, что, собственно, и опровергается в нашей работе:

"Масштабы же в направлениях перпендикулярных не изменяются".

Подмена понятий состоит в том, что в парадоксе колеса (цилиндра) речь *явным* образом идёт о его *собственном* радиусе. Радиус колеса и лежащий *рядом* с ним масштаб (линейка) – это *разные* вещи. Если метки масштаба нанесены прямо на колесо, на радиус (в состоянии покоя), то этот вариант масштаба испытает точно такое же сокращение, как и радиус колеса. Если же масштабная линейка *лежит* на поверхности колеса (на спице), то линейка, масштаб при сокращении радиуса колеса останется неизменным, а просто выдвинется за пределы колеса, обода. Согласно классической геометрии и элементарной логике: если длина окружности сократилась, то это означает и сокращение её радиуса. В частности, при вращении простого колеса со спицами, например, как на рисунке [38, с.127, рис.56], имеющего разрез обода в одном месте, очевидно, будет наблюдаться довольно интересная картина. Примем, что спицы абсолютно гибкие и внутренние их концы свободно вращаются на оси колеса. Схематично в исходном состоянии колесо показано на рисунке рис.4.14а.

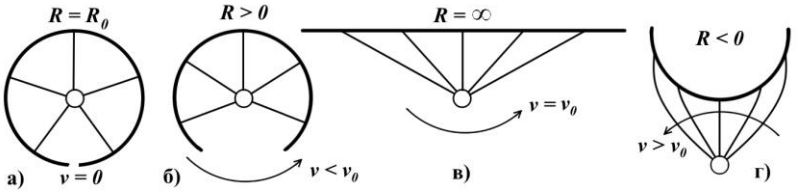

Рис.4.14. Вращение колеса со спицами и ободом, имеющим разрез

На малых скоростях разрез будет просто увеличиваться, а спицы будут сближаться, складываться наподобие веера, как показано на рисунке рис.4.14б. При скорости 0,7с обод, как и дуга, вытянется в прямую линию длиной 0,7 от исходной длины обода L_0. При этом внутренние спицы будут сжаты, а внешние – растянуты, как показано на рисунке рис.4.14в. Далее рассмотрим, как будет выглядеть такое колесо, раскрученное более чем до 0,7с. Удобно рассмотреть частный случай его искривления, когда радиус кривизны в точности равен исходному, но направлен противоположно (4.6). Это условие, напомним, означает, что новый радиус имеет отрицательный знак:

$$R_1 = R_0 \frac{1-k}{1-\dfrac{k\sqrt{1-k^2v^2}}{\sqrt{1-v^2}}} = -R_0$$

Произведём тривиальные преобразования, в результате которых получаем:

$$v^2 = \frac{4(k-1)}{k^4-(2-k)^2}$$

Замечаем, что k = 1 является корнем уравнения в знаменателе, следовательно, дробь можно сократить на (k – 1), поскольку по условиям задачи это решение должно быть отброшено (слоёв два). После сокращения находим предел квадрата скорости при утончении дуги:

$$v^2 = \lim_{k\to 1} \frac{4}{4+k^2(k+1)} = \frac{4}{4+2} = \frac{2}{3}$$

Это та скорость $v \approx 0{,}816$с, при которой дуга изменит свой изгиб в точности на противоположный. Соответственно, новая длина дуги L при этой скорости будет равна

$$L = L_0\sqrt{1-v^2} = L_0\sqrt{1-\frac{2}{3}} \approx 0{,}58L_0$$

Это состояние колеса показано на рисунке рис.4.14г.

Предельный случай

Мы рассматривали задачу о парадоксе Эренфеста, максимально следуя формализму специальной теории относительности, в частности, двум её постулатам. Однако есть ещё одно "решение", которое также непосредственно следует из формализма теории. Представим, что обруч Эренфеста имеет очень большие размеры и по всей длине раскрашен наподобие зебры, разбит на разноцветные участки. Либо имеет вид очень большого зубчатого колеса, шестерёнки с зубьями небольшой высоты, которые не влияют на рассмотренные эффекты. Рядом с этой шестернёй – зеброй находятся внешние, неподвижные наблюдатели. Поскольку объекты достаточно большие, то движение зубьев, зебры мимо них выглядит практически как прямолинейное. Для наблюдателей на колесе ситуация выглядит в этом смысле похоже, то есть, они видят, как мимо них почти прямолинейно движутся внешние наблюдатели. Колесо вращается с угловой скоростью ω, что соответствует линейной, тангенциальной скорости зубьев $v_0 = 2\pi\omega R_0$. Здесь мы обозначили нулевым индексом радиус обруча в неподвижном состоянии и скорость обода.

Но теперь рассмотрим, в чём состоит смысл этой тангенциальной скорости. Очевидно, что внутренний наблюдатель обруча, обладатель, скажем так, неевклидовой линейки, как принято, не видит никакого сокращения длины окружности. Собственно, это и лежит в основе классического парадокса Эренфеста. Здесь мы должны отметить, что решение в учебнике Ландау – Лившица содержит это утверждение в несколько завуалированном виде. Рассматривая две системы отсчёта, они указывают, что с точки зрения неподвижной системы отсчёта окружность сокращается. О длине окружности с точки зрения внутреннего, вращающегося наблюдателя прямо ничего не сказа-

но, поэтому из таких же простых рассуждений делаем вывод, что там, внутри никаких изменений не произошло. То есть, окружность для движущегося наблюдателя имеет исходные размеры и, соответственно, такую же исходную, не изменившуюся величину радиуса. Следовательно, описанное значение скорости v_0 – это её видимая величина для движущихся мимо внешних наблюдателей. Иначе говоря, один из наблюдателей, внутренний видит, что мимо него со скоростью v_0 движется другой, внешний наблюдатель.

Но что при этом видит этот внешний наблюдатель? Согласно рассматриваемой модели, длина окружности колеса сократилась, испытала лоренцево сокращение. Какова угловая скорость вращения обруча? Несомненно, она та же, то есть ω. Очевидно, что линейная скорость обода для внешнего наблюдателя также уменьшилась, поскольку определяется тем же уравнением: $v_1 = 2\pi\omega R_1$. Здесь мы сразу же вписали уменьшившийся радиус обруча, но могли записать и иначе: $v_1 = L_1\omega$, то есть, компромиссно не рассматривать уменьшение радиуса обруча. Тогда для сравнения запишем в таком же виде и исходное значение скорости: $v_0 = L_0\omega$, поскольку "виновником", главным инициатором парадокса является именно длина окружности. Но в этом случае мы получаем весьма интересное соотношение между этими двумя скоростями

$$\frac{v_1}{v_0} = \frac{L_1\omega}{L_0\omega} = \frac{L_1}{L_0}$$

Что это означает? А означает это весьма странное явление: наблюдатель на обруче видит, что мимо него со скоростью v_0 движется внешний наблюдатель, а внешний наблюдатель, в свою очередь видит, что мимо него со скоростью v_1 движется наблюдатель на обруче, причём наблюдаемые скорости не равны: $v_0 \neq v_1$. Это действительно так, поскольку не равны наблюдаемые ими длины

окружностей обруча $L_0 \neq L_1$. Что же получается: очередной парадокс специальной теории относительности? Для сравнения предположим, что в случае линейного, традиционного в теории движения два относительно движущихся наблюдателя видят *разные* скорости друг друга. Поскольку скорости разные, то естественно возникает вопрос: чья из них больше? Но это, разумеется, абсурд, поскольку оба участника по определению равноправны. Тогда почему в парадоксе колеса мы пришли именно к такому странному исходу? Здесь, конечно, наблюдатели не равноправны, поскольку находятся в разных системах отсчёта – инерциальной и неинерциальной. Но скорость всегда считается инвариантом, поэтому это всё-таки абсурд: движущиеся мимо друг друга наблюдатели обязаны видеть скорость другого одной и той же величины. В качестве объяснения, можем ли мы допустить, что неинвариантность скоростей вызвана инвариантностью угловой скорости? Может быть, следует признать, что каждый из наблюдателей вращается с иной, собственной угловой скоростью ω? То есть, наоборот, инвариантом не является угловая скорость ω, что, конечно же, выгляди также довольно странно, непривычно.

Рассмотрим в вычислениях, какие при этом возникают эффекты. Традиционно предположим, что линейная, тангенциальная скорость *исходного* обода R_0 равна 0,866 от скорости света. В этом случае длина окружности уменьшится ровно в два раза

$$L_1 = L_0\sqrt{1-v^2} = 0{,}5L_0 \qquad (4.7)$$

Соответственно, в движущейся системе отсчёта время также замедлится в два раза. Если для внешнего наблюдателя колесо совершило один оборот за секунду, что внутренний наблюдатель по своим часам измерит 2 секунды. Это неизбежно, поскольку оба наблюдателя пе-

риодически в одной и той же точке видят эти движущиеся часы и, естественно, не могут видеть на них разное время.

Таким образом, внутренний наблюдатель фиксирует свою угловую скорость в два раза ниже, чем внешний, неподвижный. Следовательно, скорость внешнего наблюдателя ему видна равной

$$v_0 = \frac{L_0}{t_0} = \frac{L_0}{2}$$

В свою очередь, внешний наблюдатель видит скорость внутреннего, равной

$$v_1 = \frac{L_1}{t_1} = \frac{0{,}5L_0}{1} = \frac{L_0}{2} \equiv v_0$$

Таким образом, абсурд неинвариантности относительной скорости мы устранили. Но при этом получили ещё одно подтверждение предложенного нами решения парадокса Эренфеста. Распишем детально уравнение (4.7)

$$L_1 = 2\pi R_1 = L_0\sqrt{1-v^2} = 2\pi R_0\sqrt{1-v^2}$$

Сокращая, находим

$$R_1 = R_0\sqrt{1-v^2} \qquad (4.8)$$

Это и есть то решение, которое мы вывели. Радиус R_0 вращающегося обода испытал лоренцево сокращение до R_1 точно такое же, как и длина его окружности. Поскольку любое колесо, цилиндр мы можем представить как набор насаженных друг на друга обручей, то их суммарная толщина – эквивалент радиуса или спицы – также испытает лоренцево сокращение (4.8). Здесь мы явно рассматриваем задачу в области применимости теории: только с точки зрения внешнего, неподвижного наблюдателя. Отказавшись от этого очевидного лоренцева сокращения (4.8), мы будем обязаны признать абсурд неинвариантности относительной скорости, то есть, объявить, признать неравенство

$$\frac{v_1}{v_0} = \frac{L_1\omega_1 = 2\pi R_1\omega_1}{L_0\omega_0 = 2\pi R_0\omega_0} \neq 1$$

Действительно, считая, что $R_0 \equiv R_1$, получаем

$$\frac{v_1}{v_0} = \frac{2\pi R_0\omega_1}{2\pi R_0\omega_0} = \frac{\omega_1}{\omega_0} \neq 1$$

То есть, при предположенной не-инвариантности угловой скорости и отсутствии сокращения вращающегося радиуса взаимная относительная скорость для каждого из наблюдателей иная, это разные скорости, они не являются инвариантом. Если же считать, что эти скорости равны, инвариантны, то и угловая скорость обязана быть инвариантом. Но выше мы обнаружили, что это ведёт к противоречию и такому же абсурду. Причина абсурда очевидна: специальная теория относительности не должна использоваться в отношении неинерциальных систем отсчёта, она не может использоваться с точки зрения такой системы. Полученный абсурд – это не абсурд теории, это абсурд её некорректного применения.

Отметим, что есть ещё один эффект, возникающий при вращении обода, круга или цилиндра, эффект, который ранее мы не описывали. Очевидно, что говорить о тангенциальной скорости элементов обода не вполне корректно. Правильнее всё-таки говорить об их угловой скорости вращения. Действительно, тангенциальная скорость элементов обода в принципе никогда не может достичь скорости света. Допустим, обод раскручен до угловой скорости ω, при которой ожидаемая тангенциальная скорость должна быть равна скорости света. Но, согласно положениям СТО, обод при этой угловой скорости обязан сократиться, что, в свою очередь, приводит к следующему уменьшению радиуса обода. Но в этом случае, при назначенной угловой скорости ω, тангенциальная скорость *обязана* также сни-

зиться. Найдём соотношение между радиусами диска R_0 – до его раскручивания и R_1 – после раскручивания

$$L_1 = 2\pi R_0\sqrt{1-4\pi^2\omega^2 R_0^2}$$

$$2\pi R_1 = 2\pi R_0\sqrt{1-v_0^2}$$

Здесь скорость v_0 – это тангенциальная скорость внешнего обода круга, поверхности цилиндра. Преобразуем и находим

$$R_1 = R_0\sqrt{1-v_0^2} \quad \rightarrow \quad R_1^2 = R_0^2 - v_0^2 R_0^2 \quad \rightarrow \quad R_1^2 + v_0^2 R_0^2 = R_0^2$$

$$R_1^2(1+v_0^2) = R_0^2$$

Решаем уравнение относительно нового радиуса R_1, добавив в заключительном уравнении символ скорости света, который ранее отбросили, приравняв его единице. Заметим, что традиционной замены какой-либо величины на единицу обычно не сопровождается пояснением, что теперь остальные величины меняют свою размерность. В первой дроби в знаменателе скорость v_0 является величиной безразмерной, это доля от скорости света, поэтому её складывают с единицей. Но в последней дроби, после восстановления скорости света v_0 – это уже другая величина, теперь это уже действительно скорость, величина, имеющая размерность скорости. Но мы также традиционно не делаем пояснений по поводу размерности величин.

$$R_1^2 = \frac{R_0^2}{1+v_0^2} \rightarrow R_1 = \frac{R_0}{\sqrt{1+v_0^2}_1} = \frac{R_0}{\sqrt{1+v_0^2/c^2}_1} = \frac{R_0 c}{\sqrt{c^2+v_0^2}}$$

Мы предполагаем, что угловая скорость, стремясь к бесконечности, приводит к тому, что тангенциальная скорость стремится к скорости света, $v_0 \rightarrow c$. Тогда соотношение между радиусами также будет стремиться к некоторому пределу

$$R_1 \to \frac{R_0 c}{\sqrt{c^2 + c^2}} = \frac{R_0}{\sqrt{2}} = R_0 \frac{\sqrt{2}}{2}$$

Здесь мы видим ещё одно проявление обнаруженного ранее странного значения скорости корень из двух, делённый на два. Если увеличить угловую скорость обруча до бесконечности, то его тангенциальная скорость достигнет всего лишь величины скорости света. При этом обруч не сократится до нуля, его радиус уменьшится лишь до величины ~ 0,7 от исходного радиуса. А ранее мы обнаружили, что при таком сокращении колесо не испытывает повреждений независимо от его материала.

Этот результат вынуждает нас, так сказать, добавить "ложку дёгтя" в наше решение парадокса и рассмотренные красочные разрушительные эффекты. Как заметил упомянутый выше оппонент, *виртуальное* сокращение радиусов ведёт к *реальной* физической деформации колеса, что определённо выглядит как противоречие. Но полученное только что решение говорит, что достичь скорости, приводящей к деформации, попросту *невозможно*. То есть, описанные выше анимационные картины для амфоры, конуса – воронки и дисков из различных материалов, являются следствием буквального, прямолинейного использования формализма специальной теории относительности. Да, согласно её положениям, такие эффекты просматриваются, выглядят как возможные. Но сопутствующий им геометрический эффект, ограниченность тангенциальной скорости, не позволяет достичь этой скорости. Конечно, можно было бы заявить, что причина *абсурда*, виртуально-реального противоречия всё та же: специальная теория относительности неприменима к ускоренно движущимся системам, каковым является вращающееся колесо, диски и их элементы. И это было бы верно. Ускоренное движение

ведёт к появлению гравитационных эффектов, которые здесь не учитывались и даже не упоминались. Однако, как оказалось, теория относительности сама отвергает решения для тангенциальной скорости, превышающей разрушающий предел в $\sqrt{2}/2 \approx 0{,}7$ от скорости света, решения, которые имеют условный, демонстрационный характер. Это очевидно, поскольку парадокс Эренфеста чужд специальной теории относительности.

Выводы

Итак, подведём итоги. Как видим, поведение раскручиваемого колеса имеет строго согласованные и непротиворечивые предсказания в специальной теории относительности для всех вариантов парадокса колеса. Сначала отметим, что все обнаруженные в статье явления и эффекты – это результаты анализа мысленных экспериментов строго в рамках *математики* специальной теории относительности. При этом заметим, что в реальном эксперименте фотография диска, раскрученного до огромной скорости, вопреки предсказанию теории не позволила обнаружить изменение его размеров [34]. Вместе с тем, даже в рамках формализма теории оказалось, что некоторые выводы являются ошибочными. В частности это вывод о невозможности привести во вращение абсолютно твердое тело, который определенно не соответствует корректным предсказаниям теории относительности:

"Рассуждение Эренфеста показывает невозможность приведения абсолютно твёрдого тела (изначально покоившегося) во вращение" [30].

Это ошибочные выводы, не соответствующие предсказаниям специальной теории относительности. Кроме того, в работе Эренфеста, которую следует считать первой

формулировкой парадокса, нет таких рассуждений. Считается, что в специальной относительности абсолютно твердое тело невозможно по определению, поскольку оно позволяет производить сверхсветовую передачу сигналов. Поэтому математика теории к таким телам неприменима изначально. Тем не менее, такое тело, как мы показали, можно раскрутить до скорости почти в две трети от скорости света. При этом никаких парадоксов не возникает, поскольку для внешнего наблюдателя происходит релятивистское сжатие круга целиком, включая его спицы.

Утверждение Эренфеста и других авторов о том, что продольно спицы не сжимаются – ошибочно. Действительно, поскольку ободы движутся без проскальзывания относительно друг друга, мы можем склеить их, рассматривая их как один сплошной диск. Если теперь на таком сплошном диске мы "нарисуем" спицы, то очевидно, они будут уменьшать свою длину, следуя за уменьшением диаметров ободов. Также спицы можно выполнить как рифление на поверхности диска и даже сделав радиальные (или под углом) пропилы внутри него.

Получившиеся спицы и пустые интервалы (пространство) между ними движутся как связанные друг с другом части ободов, то есть, являются объектами, которые сокращается как единое целое. И материал спиц, и интервал между ними испытывают тангенциальное лоренцево сокращение в равной мере, что, соответственно, приводит и к такому же их радиальному сокращению.

Самым же важным, главным выводом является признание ошибочности самой авторской формулировки парадокса, будто при раскручивании обычного цилиндра его радиус одновременно равен исходному и укороченному значению. Ошибка заключена в утверждении от имени теории относительности, что радиус колеса (спица) не ис-

пытывает лоренцева сокращения. Но специальная теория относительности *не делает такого предсказания*. Строго согласно её формализму спицы испытывают такое же *эквивалентное* лоренцево сокращение, как и обод колеса. Если остановить колесо после достижения скорости 0,7 от скорости света, то оно примет свою исходную форму без каких-либо повреждений. Таким образом, ни одна из рассмотренных формулировок не позволяет говорить о парадоксе как таковом. Все виды парадокса колеса, Эренфеста являются мнимыми, псевдо парадоксами.

Корректное и последовательное применение математики СТО позволяет для каждой рассмотренной ситуации сделать полностью непротиворечивые предсказания. Под парадоксом мы понимаем правильные предсказания, которые противоречат друг другу, но здесь этого нет. Специальная теория относительности была сформулирована и строго доказана как *математическая* теорема. Более чем за вековой срок её существования эти доказательства никем не были опровергнуты. Поэтому в рамках её математического формализма никакие математические, *мысленные* эксперименты в принципе не могут ей противоречить. Как правило, внешне корректно сформулированные парадоксы теории на самом деле содержат скрытые нарушения её постулатов. Только при их нарушении в теории возникают противоречия. Например, распространение теории на сверхсветовые сигналы, на сверхсветовые частицы – тахионы сразу же вынуждает её делать противоречивые, взаимоисключающие предсказания.

Вместе с тем, реальному *физическому* миру специальная теория относительности имеет *ограниченное* соответствие. Физические эксперименты Маринова, Штыркова и некоторых других исследователей ставят под сомнение соблюдение 2-го постулата теории в реальном физическом

мире. Едва ли не единственный формально являющийся подтверждением "парадокса близнецов" эксперимент Хафеле-Китинга следует поставить под сомнение по причине того, что результат вполне укладывается в пределы погрешности использованной измерительной аппаратуры [34]. Наконец, в квантовой механике обнаружена сверхсветовая корреляция состояний запутанных частиц, что также позволяет в осуществимом физическом эксперименте обнаружить нарушение 2-го постулата, нарушение преобразований Лоренца для темпа хода часов: относительно движущиеся часы идут синхронно.

Следует отметить, что после просмотра источников, который нельзя, конечно, назвать исчерпывающим, выяснилось следующее. Изложенное решение парадокса Эренфеста (парадокса колеса) является, видимо, первым с момента его формулировки Эренфестом в 1909 году непротиворечивым решением парадокса в рамках специальной теории относительности. Рассмотренное решение парадокса было направлено в октябре 2015 года для публикации на сайте Международной ассоциации ученых, преподавателей и специалистов (Российской Академии Естествознания) в разделе Заочные электронные конференции.

Приведённый здесь новый текст статьи о парадоксе Эренфеста следует считать окончательным и самым полным на дату публикации данной книги. Все иные варианты статьи, опубликованные ранее, мы оставляем в силе. Вместе с тем следует понимать, что они написаны раньше, меньше по объёму, то есть, содержат ограниченную информацию, причём некоторые выкладки были дополнены или исправлены.

П5. Горизонты видимости Вселенной

Нередко в литературе или в образовательных фильмах звучит вопрос: чему равны размеры наблюдаемой Вселенной, чему равен так называемый радиус *наблюдаемой* Вселенной. То есть, как далеко находятся от нас самые дальние объекты в ней, которые мы видим. Ответ на этот вопрос на самом деле простым не является. Видимо, поэтому в научных публикациях, посвященных ему, царит заметная неразбериха. С одной стороны, практически никто не оспаривает тот факт, что любой фотон во Вселенной двигался не дольше, чем примерно 14 млрд. лет. Иначе и быть не может, поскольку это возраст Вселенной. Следовательно, самый старый фотон, который мы можем наблюдать на Земле, не старше этого возраста.

С другой стороны, кажется очевидным, что до встречи с Землёй самый старый и, соответственно, самый дальний фотон, двигаясь со скоростью света, прошёл и соответствующее расстояние не более чем 14 млрд. световых лет. Однако это утверждение требует некоторых пояснений. Если бы Вселенная была стационарной, тогда, действительно, мы могли бы заявить, что источник этого фотона сегодня находится от нас на удалении в 14 млрд. световых лет. Однако вследствие расширения Вселенной это удаление увеличилось и, следовательно, путь, пройденный этим или любым другим фотоном, на самом деле также может оказаться больше. Больше, но насколько?

Далее все рассуждения и вычисления мы будем производить в системе единиц: время – год, дистанция – световой год. В этой системе скорость света равна единице. В условиях Вселенной это самые наглядные, легко представимые величины, представимые намного лучше, чем парсеки и астрономические единицы и, уж тем более чем километры. Но для обозначения скоростей удобнее

всё-таки использовать другую, специфическую единицу измерения – в долях от скорости света, например, 2с – это две скорости света, а 0,1с – десятая часть от неё.

Исследуя уравнение движения некоторой галактики, мы обнаруживаем, что в ускоренно расширяющейся Вселенной за срок её существования никакой фотон не сможет достичь получателя на Земле, которая в момент излучения была на удалении от источника фотона, например, более чем 14 млрд. св. лет. Просто потому, что за это время Земля удалится от точки исходного расстояния. За 14 млрд. лет все расстояния во Вселенной увеличились в е – раз. Здесь символ е – это число, основание натурального логарифма, равное округлённо 2,72. Поэтому расстояние, которое до встречи с Землёй должен был пройти самый дальний и старый фотон, также является *удлинившейся* в 2,72 раза исходной дистанцией. Иначе говоря, испущенный звездой фотон, устремился к Земле, но она убегала от него. В итоге мы получаем, что в момент излучения фотона расстояние между его источником и Землёй было одно, а в момент его встречи с Землёй – другое. Зная начальную удалённость источника, мы можем определить и его конечную удалённость, которая равна начальному, умноженному, согласно закону Хаббла, на число е. Именно на таком удалении от Земли находится источник фотона в момент его получения наблюдателями на Земле.

Для поиска ответа на поставленный выше вопрос о радиусе наблюдаемой Вселенной, необходимо рассмотреть связанные с ним определения, формулировки горизонтов. Их традиционные формулировки в достаточно приемлемом и наглядном виде привёл Чернышенко [42]. В его классификации описаны следующие понятия.

Сфера Хаббла. Это некая условная сфера в пространстве, на которой скорость удаления объектов от

наблюдателя в её центре равна скорости света. Радиус сферы определяется величиной параметра Хаббла. Здесь в наших исследованиях мы приняли, что параметр является постоянной величиной, из чего следует, что и сфера Хаббла имеет конкретное *неизменное* значение. В классификации Чернышенко оно не приведено.

Горизонт фотонов. Согласно описанию, это, по сути, та же самая сфера Хаббла, поэтому всё, что сказано о сфере, относится и к горизонту фотонов.

Горизонт частиц. Согласно рассматриваемой классификации, этот горизонт отделяет наблюдаемые в настоящий момент объекты от ненаблюдаемых. И вновь мы замечаем полное тождество этого горизонта со сферой Хаббла. По нашим представлениям, все они имеют один и тот же размер, величину радиуса сферы Хаббла. Как следует из классификации и даже прямо заявлено, внутри сферы Хаббла, горизонта фотонов и горизонта частиц расположены объекты, галактики, которые составляют часть Вселенной, в принципе доступную наблюдению в данный или будущий момент времени. Заметим, что в момент *рождения* Вселенной и начала её расширения, объектов, испустивших свет, ещё не было.

Горизонт событий. Определение выглядит как дань общей теории относительности: это поверхность в *пространстве-времени*. Тем не менее, и он, в конечном счете, сводится к сфере Хаббла. В самом деле, указанный в классификации смысл этого горизонта в том, что он отделяет события, которые могут *повлиять* на нас хотя бы в будущем, от тех, которые никак повлиять на нас не смогут.

Таким образом, согласно описаниям, горизонт видимости, предельный радиус наблюдаемой Вселенной равны радиусу сферы Хаббла. Это означает невозможность наблюдать объекты, находящиеся дальше радиуса этой

сферы. Однако все эти определения горизонтов трактуются, поясняются неверно, что является следствием ошибочной *трактовки* самого понятия сферы Хаббла, понятия, можно сказать, первичного, лежащего в их основе. Действительно, сфера Хаббла, согласно закону Хаббла, имеет вполне конкретное значение. А именно: её радиус равен отношению скорости света к *постоянной* Хаббла.

В используемой системе единиц скорость света равна единице, поэтому радиус сферы Хаббла в наши дни равен просто обратной величине постоянной Хаббла. Поскольку и сама постоянная Хаббла является обратной величиной возраста Вселенной, то численно этот радиус равен возрасту Вселенной $R_H = c/H$ или $1/(1/14) \approx 14 \cdot 10^9$ млрд. св. лет. Возраст Вселенной мы округлённо приняли равным 14 млрд. лет. Но что это означает? Получается, что галактику, которая сегодня удалена от нас на расстояние, например, 10 млрд. св. лет, мы можем увидеть? Ведь она находится внутри сферы Хаббла, внутри всех описанных горизонтов. Можно заметить, что классическая сфера Хаббла нередко трактуется как ничего не значащее понятие, обстоятельство. Принято считать, и с этим следует согласиться, что на расстоянии от наблюдателя, равном радиусу сферы, частицы движутся к центру сферы и одновременно удаляются от него с одной и той же – световой скоростью. То есть, в итоге находятся в покое относительно этого наблюдателя. Ещё раз поясним это более чётко. Сфера Хаббла – это поверхность в пространстве, некая сферическая *область* пространства, удаляющаяся от её центра и уносящая с собой со световой скоростью все оказавшиеся поблизости объекты. Следовательно, никакая частица с этой поверхности *никогда* не сможет достичь её центра. Только те частицы, которые движутся внутри этой сферы, смогут достичь её центра. Согласно астрономическим наблюдени-

ям и закону Хаббла его сфера имеет радиус, заведомо больше 12 млрд. св. лет, поскольку с этого удаления фотоны мы сегодня получаем. Сама постоянная Хаббла H выводится в общей теории относительности из известного релятивистского соотношения, из которого выводится также и закон Хаббла:

$$H = \frac{\dot{a}}{a} \qquad (5.1)$$

где a – масштабный фактор.

Изменяющийся масштабный фактор отражает расширение Вселенной и указывает, что при этом собственно движения звёзд и галактик нет. Расширяется само пространство, поэтому собственные пространственные координаты их остаются неизменными, изменяется лишь *масштаб* этих координат. В соотношении (5.1) уравнение для масштабного фактора имеет вид функции:

$$a = a_0 e^{Ht} \quad (5.2)$$

Действительно, лишь в этом случае:

$$H = \frac{\dot{a}}{a} = \frac{Ha_0 e^{Ht}}{a_0 e^{Ht}} = H$$

Из этого же уравнения (5.2) дифференцированием выводится, в свою очередь, стандартный закон Хаббла. Закон Хаббла связывает через постоянную Хаббла скорость удаления галактики с её удалённостью от наблюдателя. Другими словами, уравнение (5.2) является условным уравнением движения, косвенно описывает зависимость от времени расстояния, на которое удалится объект, изначально находившийся на расстоянии, эквивалентом которого является масштабный фактор a_0. Сначала перепишем уравнение в обычных обозначениях, затем дифференцированием найдём скорость движения объекта

$$a = a_0 e^{Ht} \quad \rightarrow \quad r = R_0 e^{Ht}$$

$$v = \dot{r} = R_0 H e^{Ht} = \left(R_0 e^{Ht}\right) \cdot H$$

$$v = rH \qquad (5.3)$$

Исходное, верхнее уравнение приведено в двух вариантах: с масштабным фактором, слева и с традиционным обозначением расстояний и радиусов. Мы видим, что последнее, традиционное выражение (5.3), отражает линейную зависимость скорости от удалённости. В нём время t – текущее время, прошедшее после Большого взрыва. Это уравнение и является стандартным законом Хаббла. Для простоты выше мы приняли, что постоянная Хаббла и на самом деле постоянная, то есть, и в начале веков и сегодня она равна одной и той же величине. Как мы уже отметили, из закона Хаббла выводится и величина радиуса сферы Хаббла. Из её определения следует, что скорость расширения пространства на её поверхности должна быть равна скорости света. В этом случае фотоны на ней "отбрасываются" от центра сферы, буквально, как бы *зависают* на её поверхности, то есть, образуется та самая непреодолимая для них граница, горизонт. Согласно этому уравнению, радиус сферы Хаббла R_H равен

$$v = H \cdot R_H = c = 1$$

$$R_H = \frac{1}{H}$$

Используя выражение (5.3) или (5.2), мы можем найти начальное положение галактики R_0, которая в наши дни оказалась на поверхности сферы Хаббла.

$$v = R_0 H e^{Ht} = 1$$

Напомним, что общепринятое время существования Вселенной 13,8 млрд. лет считается равным обратной величине постоянной Хаббла. Мы приравняли уравнение

единице, поскольку на сфере Хаббла рассматриваемая галактика движется именно с этой скоростью, скоростью света. Преобразуем уравнение относительно R_0, начального положения этой галактики на момент начала расширения Вселенной и найдём его значение

$$R_0 = \frac{1}{He^{Ht}} = \frac{13{,}8}{e^{H\times\frac{1}{H}}} = \frac{13{,}8}{2{,}72} \approx 5{,}08$$

Уравнение движения этой галактики, следовательно, имеет вид

$$r = R_0 e^{Ht} \approx 5{,}08 \cdot e^{0{,}0725} \quad (5.4)$$

Полученное уравнение движения (5.4) позволяет сделать вывод, что в начальный момент времени, сразу после того, как были сформированы галактики, самый удалённый от Земли источник, фотоны от которого, испущенные сегодня, в настоящее время либо достигли Земли, либо обязательно достигнут её в будущем", находился от неё на этом расстоянии, не далее $R_0 \approx 5{,}08$ миллиардов световых лет. Это весьма интересное уравнение движения галактики. Все галактики по удалённости можно разделить на три группы. Далее мы покажем, что самой дальней наблюдаемой, видимой ныне галактикой с принятым нами значением параметра Хаббла, является галактика с начальной удалённостью в 9 млрд. световых лет. То есть, мы имеем три контрольные точки: начало расширения или 0, далее 5 и, наконец, 13,8 млрд. световых лет, разбивающие весь интервал дистанций на три группы. Первая группа 0...5 – это наблюдаемые галактики, события в которых мы будем наблюдать ещё довольно долго. Группа 5...13,8 – это галактики имеющие весьма любопытные свойства. Некоторые из них мы видим сегодня, но это их прошлое состояние. Всё, что в них произойдёт отныне, нам для наблюдения недоступно. В этой группе крайняя галактика с уда-

лённостью 5 является первой, события в которой отныне нам недоступны. Она находится точно на горизонте событий, на сфере Хаббла. Эту галактику мы в дальнейшем будем видеть всё более тусклой, причём это уменьшение яркости никак не связано со скоростью расширения Вселенной. Расстояние в 5 млрд. св. лет можно назвать *исходным* расстоянием достижения сферы Хаббла за время существования Вселенной. Одновременно это наиболее удалённая от Земли галактика, на которой мы ещё можем увидеть какие-либо изменения в наши дни и вместе с тем наиболее близкая из группы 5...13,8. Как видим, к этой же группе относятся и другие, более далёкие галактики вплоть до горизонта, информацию о сегодняшнем состоянии которых мы ещё можем получить. Предположим, что обитатели этой ближайшей в группе галактики отправили нам сейчас, в 2023 году сигнал "привет!" В зависимости от того, когда этот сигнал отправлен – в марте или в декабре, мы его получим через миллиарды или даже через "триллиарды" лет. Но от галактик с начальной удалённостью 5,09... и более далёких мы уже никогда не получим никаких сегодняшних привет – сигналов. При этом информация об их прошлом, до сегодняшнего дня состоянии будет поступать к нам ещё бесконечно долгое время. Отметим также ещё одно интересное обстоятельство. Как бы долго ни шёл свет от этих галактик до Земли, на ней удалённость галактик всегда будет видеться как её начальная, исходная удалённость. В данном случае – это 5 млрд. световых лет.

Галактики из следующей группы начальных удалённостей, более 13,8 нам недоступны для наблюдения даже в прошлом состоянии. Эти галактики с самого начала находятся далеко за границей видимости Вселенной. Напомним, мы рассматриваем равномерно расширяющуюся Вселенную с *постоянной* Хаббла H = const.

Реальное, действительно пройденное галактикой расстояние до сферы Хаббла S_{14} можно найти другим способом – интегрированием. Пройденный галактикой элементарный отрезок расстояния равен

$$dS_{14} = vdt = R_0 He^{Ht} dt$$

Поскольку время движения галактики равно возрасту Вселенной, интегрируем по всему времени движения и находим

$$S_{14} = \int_0^{13{,}8} v dt = \int_0^{13{,}8} R_0 He^{Ht} dt = R_0 \int_0^{13{,}8} He^{Ht} dt$$

Мы не стали выносить постоянную Хаббла из-под интеграла, поскольку она позволяет легко его вычислить

$$S_{14} = R_0 \int_0^{13{,}8} e^{Ht} d(Ht) = R_0 e^{Ht} \Big|_0^{13{,}8} = R_0 (e^{H \cdot 13{,}8} - e^{H \cdot 0})$$

Раскрываем скобки и преобразуем

$$S_{14} = R_0 (e - 1) \approx 5{,}08 \times 1{,}72 = 8{,}72$$

Результат можно проверить: сумма начальной удалённости и пройденного пути должна быть равна радиусу R_H сферы Хаббла. В общем виде:

$$R_H = R_0 + S_{14} = R_0 + R_0 (e - 1) = R_0 e$$

$$R_0 e = \frac{1}{He^{Ht}} \times e = \frac{1}{He} \times e = \frac{1}{H} = R_H$$

То же самое в числах

$$R_H = S_{14} + R_0 \approx 5{,}08 + 8{,}72 \equiv 13{,}8$$

Выше мы уклончиво написали "в настоящее время либо достигли Земли, либо обязательно достигнут её в будущем". Для этого "либо... либо" были основания. Дело в том, что от точки своего рождения в рассматриваемой галактике до Земли фотон прошёл путь, равный не 8,72 млрд. световых лет, поскольку Земля всё время удалялась от фотона, а несколько иное расстояние, возможно,

меньшее. Иначе говоря, дистанция увеличивалась не только между Землёй и фотоном, но и позади фотона – между ним и галактикой – источником. Но насколько? Мы можем легко определить начальное и конечное расстояния между галактикой и Землёй. Очевидно, что время в пути для фотона будет больше, чем при прохождении начального расстояния, но, видимо, меньше, чем при прохождении расстояния конечного, увеличившейся дистанции.

Уравнение движения

Связано это с тем, как мы отметили, что конечная дистанция растёт как перед фотоном, так и позади него. Физически это выглядит так, будто фотон прошёл эту дистанцию со скоростью, превышающей скорость света. Впервые описание этого явления мы встретили у Голованова и исследовали его в нашей работе "Радиус наблюдаемой Вселенной и горизонт Вселенной" [61].

Рассмотрим его здесь в немного упрощённом виде. Пусть фотон движется в течение n = 10 интервалов времени, проходя, соответственно 10 последовательных отрезков пути. Длительность интервала времени обозначим символом t_{10}. Считаем, что фотон в течение одного интервала времени движется в стационарном пространстве. После того, как он прошёл некоторый очередной интервал, отрезок пути, этот и все ранее пройденные интервалы испытали хаббловское расширение. По завершению последнего интервала времени суммарный пройденный путь L_{10} можно рассматривать состоящим как бы из двух фрагментов. Первый фрагмент – это реально пройденный фотоном путь в условно стационарном пространстве. Описывается этот путь, его фрагмент следующим уравнением

$$L_{10} = c \times t_{10} \times n \qquad (5.5)$$

Второй фрагмент является накопленным, составным хаббловским расширением всех отрезков. В принципе, такое разделение на фрагменты допустимо, поскольку на коротком интервале времени с приемлемой точностью Вселенная расширяется незначительно и её можно рассматривать как стационарную. Это тем более верно, чем короче интервалы времени.

Итак, за первый отрезок времени фотон пройдёт путь $L_1 = c \cdot t_{10}$. После того, как фотон прошёл этот отрезок своего пути, отрезок испытал хаббловское расширение, следовательно, фотон оказался в точке, удалённой от начальной на расстояние

$$L_{10} = L_1 \times e^{H \times t_{10}} = c \cdot t_{10} \times e^{H \times t_{10}}$$

Для удобного сворачивания, упрощения уравнений, зададим величину интервала времени кратным времени существования Вселенной, а именно: $t_{10} = T_{14}/n = 1/nH$. Уравнение теперь будет таким

$$L_{10} = L_1 \times e^{H \times t_{10}} = c \cdot \frac{T_{14}}{n} \times e^{1/n}$$

Замечаем, что правый сомножитель, экспонента – это заданная нами константа, которая, по сути, отображает степень расширения пространства. Обозначим её символом q и используем c = 1.

$$L_{10} = \frac{T_{14}}{n} q$$

Итак, за первый отрезок времени фотон сместился на первое, текущее расстояние L_{10}, испытавшее хаббловское расширение. Далее фотон продолжил своё движение. Мы приняли, что фотон на первом этапе движется в стационарном пространстве, поэтому теперь он удалится на новое расстояние

$$L_{10} = \frac{T_{14}}{n} q + \frac{T_{14}}{n}$$

Далее новый отрезок, пройденный фотоном, отрезок, целиком находящийся позади него, вновь расширяется, поэтому текущее значение L_{10} будет новым

$$L_{10} = \left(\frac{T_{14}}{n} q + \frac{T_{14}}{n} \right) \times q$$

Закономерность уже просматривается, но проделаем ещё один этап, третий. В стационарном пространстве фотон пройдёт новый отрезок пути и будет от начальной точки на новом текущем удалении L_{10}

$$L_{10} = \left(\frac{T_{14}}{n} q + \frac{T_{14}}{n} \right) \times q + \frac{T_{14}}{n}$$

Этот отрезок вновь испытал хаббловское расширение, и фотон вновь оказался на большем удалении от начальной точки

$$L_{10} = \left(\left(\frac{T_{14}}{n} q + \frac{T_{14}}{n} \right) \times q + \frac{T_{14}}{n} \right) \times q \qquad (5.6)$$

Действительно, закономерность очевидна, поэтому сразу записываем уравнение для удалённости фотона от начально точки по итогам всех n = 10 интервалов времени. Одновременно, переносим влево общий множитель у слагаемых, и для наглядности раскрываем все скобки, чтобы они не загромождали уравнение

$$\frac{nL_{10}}{T_{14}} = q^{10} + q^9 + q^8 + q^7 + q^6 + q^5 + q^4 + q^3 + q^2 + q \qquad (5.7)$$

Справа мы получили степенной ряд с конечным количеством слагаемых, поэтому для математической наглядности перепишем его со знаком суммы, вернув обратно перемещённую дробь

$$L_{10} = \frac{T_{14}}{n} \sum_{k=1}^{n} q^k$$

$$q = e^{H t_{10}} = e^{H \times \frac{1}{nH}} \equiv e^{\frac{1}{n}} \approx 1{,}105$$

Поскольку слагаемых немного, всего 10, просто их просуммируем

$$L_{10} = \frac{14}{10} \sum_{k=1}^{10} \left(e^{0{,}1}\right)^k = 1{,}4 \times \sum_{k=1}^{10} 1{,}105^k = 1{,}4 \times 18.05 \approx 25{,}28$$

Мы задали интервал времени одного шага, равный одной десятой от времени существования Вселенной, то есть, примерно 1,4 млрд. лет. Следовательно, суммирование по всем этим интервалом означает, что мы нашли пройденный фотоном путь за всё время существования Вселенной. Иначе говоря, за 14 млрд. лет Вселенная расширилась до величины в 25 млрд. световых лет, именно такое расстояние прошёл самый старый фотон. То, что этот путь больше известного размера Вселенной, не должно смущать. Источник фотона просто удалился далеко за пределы этого размера. Далее мы можем увеличить число интервалов, что практически не приведёт к серьёзному усложнению вычислений, но, видимо, повысит точность значения L_{10}. Мы сохраним прежнее название – L_{10} для сопоставимости, хотя правильнее эту величину переименовать под новое число интервалов. Для сравнения, найдём значение L_{10} для n = 100 интервалов

$$L_{10} = L_{100} = \frac{14}{100} \sum_{k=1}^{100} \left(e^{0{,}01}\right)^k = 0{,}14 \times 172{,}69 \approx 24{,}18$$

Для компьютерных вычислений и сумма n = 1000 членов ряда не представляет сложности. Вычислим и его

$$L_{10} = L_{1000} = \frac{14}{1000} \sum_{k=1}^{1000} \left(e^{0{,}001}\right)^k = 0{,}014 \times 1719{,}1 \approx 24{,}07$$

Для более полного анализа найдём L_{10} также и для крайнего, почти предельно малого значения n = 5

$$L_{10} = L_5 = \frac{14}{5}\sum_{k=1}^{5}\left(e^{0,2}\right)^k = 2,8 \times 9,48 \approx 25,54$$

Подводим итог. Мы получили четыре значения L_{10} для разных количеств отрезков времени n. Можно сказать, что полученные значения L_{10} мало отличаются друг от друга, хотя интервал числа отрезков, интервалов времени достаточно широк. Следовательно, можно принять, что величина L_{10}, во-первых, слабо зависит от числа интервалов и, во-вторых, явно стремится асимптотически к некоторому *минимальному* значению. Строго говоря, для нас представляет интерес именно *минимальное* значение этого параметра, поэтому мы можем принять его значение, равным $L_{10} \approx 24,0$ миллиардам световых лет. Поясним ещё раз смысл этой величины L_{10}. Некая галактика испустила фотон в расширяющейся Вселенной. Мы рассмотрели, как далеко этот фотон удалится от галактики за время T_{14}. Это удаление мы и обозначили как L_{10} – удаление фотона от своего источника за время существования Вселенной.

Для последующих графических построений нам удобнее представить уравнения (5.6) и (5.7) иначе, не раскрывая скобок. Чтобы не перегружать уравнение, левые, открывающие скобки мы заменим на одну, общую, помня, что сразу после знака равенства находится почти десять открывающих скобок

$$\frac{nL_{10}}{T_{14}} = (q+1)q+1)q+1)q+1)q+1)q+1)q+1)q+1)q+1)q \quad (5.8)$$

Преобразуем уравнение (5.8) относительно L_{10}

$$L_{10} = \frac{T_{14}}{n}(q+1)q+1)q+1)q+...+1)q+1)q+1)q+1)q \quad (5.9)$$

Фактически мы получили уравнение движения фотона за всё время существования Вселенной при разбиении его на n = 10 интервалов времени. Суммарный отрезок при этом означает путь, пройденный фотоном за всё это время. Теперь мы можем задаться вопросом, а на каком расстоянии от наблюдателя должна была изначально находиться галактика, чтобы её фотон достиг наблюдателя за это же время T_{14}? Иными словами, путь, пройденный фотоном, должен быть равен *конечной* удалённости галактики от Земли. Очевидно, что эта конечная удалённость является удлинившейся за время T_{14} исходной удалённостью между Землёй и галактикой. Обозначим её исходное значение через R_0. Аналитическое определение этой величины затруднено, поскольку сформированный нами в виде (5.8) и (5.9) основной параметр L_{10}, необходимый для этих вычислений, весьма непросто представить в виде функции. Поэтому воспользуемся графическими построениями. Поскольку мы выяснили, что результат вычислений по уравнению (5.8) и (5.9) тем точнее, чем больше n, то преобразуем это уравнение для большего числа интервалов n, которое будем менять по мере необходимости.

Рассматриваем модель, в которой от галактики "убегает" Земля и испущенный ею фотон. Время выберем сквозное, от рождения Вселенной и до неопределённого будущего, поскольку в квадратных скобках мы можем взять любое число слагаемых, превышающее n, m > n. В этом случае мы просто задаём некоторое значение интервала времени, достаточно малое, например

$$t_{10} = \frac{T_{14}}{n} = \frac{T_{14}}{50} \approx 0{,}3$$

Изменим также запись последовательности слагаемых, в результате чего уравнение приобретает вид

$$L_{10} = t_{10} \times [\underbrace{(q+1)q+1)q+1)q+1)q+1)q+...+1)q+1)q}_{m-слагаемых}] \quad (5.10)$$

Графики строим в координатах время – дистанция. График движения фотона обозначим как $R_ф$, а график текущей удалённости галактики от Земли вследствие расширения пространства – его начальной удалённостью с указанием этой удалённости, например, $R_0 = 12$. Заметим, что на всех приведённых далее диаграммах график движения фотона один и тот же, он не зависит от начальной удалённости от Земли своего источника, галактики.

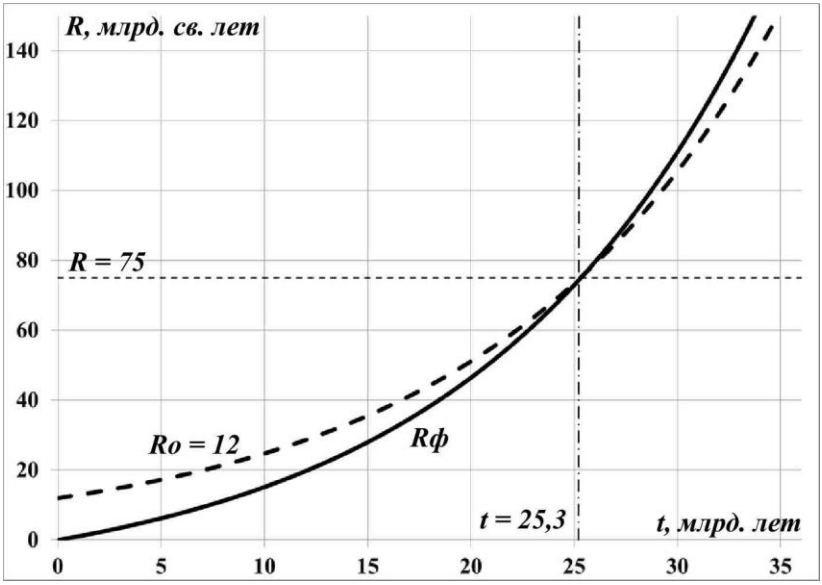

Рис.5.1. Галактика на удалении 12 млрд. св. лет

Сначала рассмотрим один из произвольных вариантов галактик. Допустим, что в момент рождения Вселенной галактика находилась на расстоянии 12 млрд. световых лет от того места, где позднее появилась Земля. График движения фотонов $R_ф$ мы строим, используя уравнение (5.10). График движения Земли строим по уравнению (5.4) с заданной здесь начальной удалённостью. Факт

наблюдения, получения фотонов на Земле отражается точкой пересечения двух графиков: движения Земли $R_0 = 12$ и графика движения фотонов $R_ф$. Испущенные галактикой фотоны начали путь к Земле, но она, напротив, стремилась удалиться как от галактики, так и от догоняющих её фотонов. Тем не менее, через 25,3 млрд. лет фотоны всё-таки догнали Землю, после чего продолжили свой путь уже за её пределы. Понятно, что вылетевшие вслед за ними другие фотоны являются в дальнейшем видимым образом галактики. По графику мы можем заметить, что скорость фотонов в расширяющейся Вселенной явно больше скорости света. В самом деле, интервал пути от 80 до 100 млрд. св. лет фотоны прошли за время, приблизительно, от 26,1 до 28,8 млрд. лет. Следовательно, скорость движения фотонного потока после его наблюдения в долях от скорости света будет равна

$$v_ф = \frac{R_ф}{t_ф} = \frac{100-80}{28{,}8-26{,}1} \approx 7{,}4$$

То есть, фактическая скорость фотона в расширяющейся Вселенной оказалась в 7 раз больше скорости света. Кстати, как и скорость Земли. Однако фотон, свет не будет иметь *заметного* допплеровского *синего* смещения, поскольку это его *абсолютная* скорость. Скорость же относительно Земли, в точке наблюдения у него существенно меньше. Тем не менее, скорость фотона всё-таки больше скорости удаления Земли, иначе фотон её не догнал бы. Уточним: пониженная, относительная скорость фотона будет только в случае, когда фотон вместе с пространством *удаляется* от наблюдателя. В случае его приближения, в согласии с эффектом Доплера, скорость фотона будет больше. Кроме этого, на графике видно, что эта галактика, находившаяся изначально, в момент рождения Вселенной в точке на удалении 12 млрд. св. лет от будущей точки

нахождения Земли, в наши дни с Земли *не видна*. Видна с Земли эта галактика будет лишь через 25,3 млрд. лет после Большого Взрыва, причём как удалённая на эти самые 12 млрд. световых лет. За это время она удалится от Земли на расстояние в 75 млрд. св. лет. Согласно рассмотренной классификации, это означает, что условный, геометрический радиус *видимости* Вселенной (но не радиус *горизонта* видимости) в традиционном понимании явно не меньше 75 миллиардов световых лет.

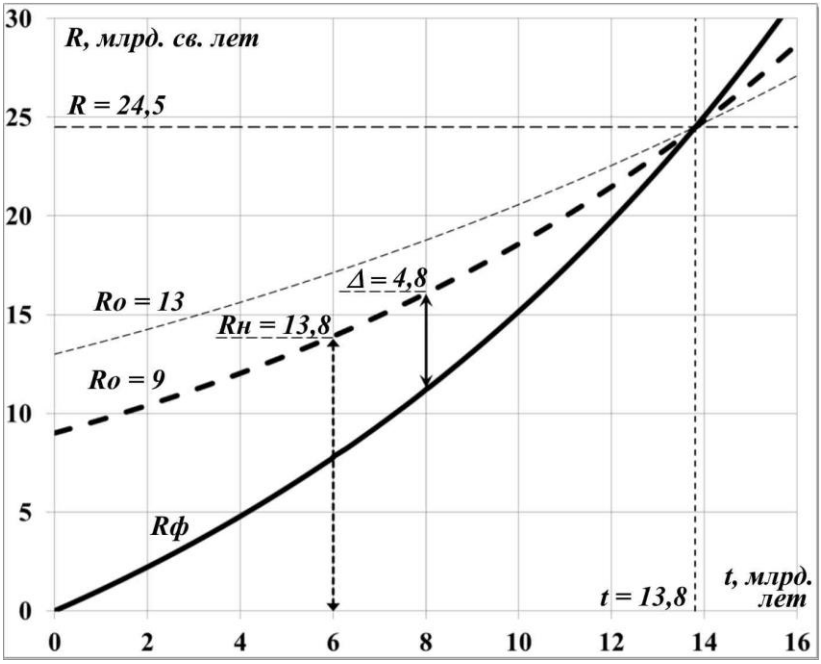

Рис.5.2. Галактика на удалении 9 млрд. св. лет

Напомним, что мы рассматриваем *равномерно* расширяющуюся Вселенную, с неизменным значением параметра Хаббла. Если в такой Вселенной источник, находившийся изначально на удалении 12 млрд. св. лет, ещё не виден, то на каком расстоянии он должен был находиться, чтобы мы его могли наблюдать сейчас? Простым перебо-

ром разных значений, подбором мы нашли такое расстояние – это приблизительно 9 млрд. св. лет. На рисунке рис.5.2 приведены графики движения Земли – R_0 и фотонов – $R_ф$ относительно такого источника, галактики. Это самый дальний объект на момент излучения, который мы можем наблюдать сегодня.

Первая (левая) двухсторонняя стрелка $Rн = 13{,}8$ показывает, что через 6 млрд. лет эта галактика будет находиться от Земли на удалении 13,8 млрд. св. лет. Это значит, что с этого момента мы уже никогда не узнаем, что происходит в этой галактике. Как видно по второй двухсторонней стрелке справа, через 8 млрд. лет фотоны, испущенные этой галактикой, будут от Земли на удалении $\Delta = 4{,}8$ млрд. световых лет. Они ещё не достигли Земли, поэтому невидимы. Наконец, через 13,8 млрд. лет фотоны достигнут Земли, что показано как пересечение их графиков движения. В этот момент излучившая фотоны галактика находится уже на удалении почти 25 млрд. св. лет от Земли.

Заметим, что описанная картина вовсе не противоречит *трактовке* результатов астрономических наблюдений, когда утверждается, что видна галактика, находящаяся, например, на удалении более 12 млрд. св. лет. Такая удалённость этой наблюдаемой галактики на момент излучения ею фотонов была именно такой, но соответствует она *ускоренно* расширяющейся Вселенной. Действительно, представим, что Вселенная не расширяется вообще. Тогда самую дальнюю галактику мы будем видеть находящейся на удалении 13,8 млрд. световых лет. При заданном нами значении постоянной Хаббла $H_0 = 1/13{,}8 \sim 0{,}072$ самая дальняя галактика может находиться не дальше чем в 9 млрд. световых лет. То есть, для этого диапазона постоянной Хаббла мы имеем соответствующий диапазон самых дальних галактик от 13,8 до 9 млрд. световых лет. Зависи-

мость очевидная: чем меньше *среднее* значение параметра Хаббла, тем больше расстояние до самой дальней галактики. Следовательно, при *уменьшении* среднего значения параметра Хаббла, расстояние до самой дальней галактики будет возрастать до предельного значения 13,8 млрд. световых лет. В сущности, это предельное, *недостижимое* для наблюдения значение удалённости самой дальней галактики, то есть, горизонт видимости.

С другой стороны, поскольку сейчас наблюдаются галактики на удалении около 13 млрд. световых лет, *среднее* значение параметра Хаббла, очевидно, меньше нынешнего. А это означает, что для получения этого меньшего среднего, параметр Хаббла должен был иметь когда-то меньшее значение, чем нынешнее. А "когда-то" может быть только в прошлом. Это и означает, что в прошлом параметр Хаббла был меньше, чем сейчас, то есть, он возрастал, а Вселенная, следовательно, расширяется с ускорением. Единственным возражением против ускоренного расширения может быть только одно: измеренные удалённости неточны. Это, в сущности, противоречием не является, ведь выше мы пришли к выводу, что все галактики, сохраняя свою видимую удалённость, со временем становятся более тусклыми.

Чтобы сделать оценку изменения параметра Хаббла, найдём это среднее значение, исходя из наблюдаемой ныне предельной удалённости в R_{13} = 13 млрд. световых лет. Уравнение движения такой галактики имеет вид

$$R_{13,8} = R_{13} e^{H_{13,8} t_{14}} \quad \rightarrow \quad 24{,}5 = 13 \cdot e^{H_{13,8} t_{14}}$$

Величину $R_{13,8}$ мы взяли из очевидных соображений: именно на таком удалении находится галактика – источник в момент получения от неё первых фотонов. Преобразуем уравнение

$$e^{H_{13}\times 13,8} = \frac{24,5}{13} \quad \rightarrow \quad e^{H_{13}\times 13,8} = \frac{24,5}{13}$$

$$H_{13}\times 13,8 = \ln\frac{24,5}{13} \quad \rightarrow \quad H_{13} = \frac{1}{13,8}\ln\frac{24,5}{13} \approx 0,046$$

Это среднее значение постоянной Хаббла, оно получилось, естественно, меньше использованного нами значения $H_{14} \approx 0,072$. Рассмотрим простейший вариант: пусть вторую половину времени, вплоть до наших дней параметр Хаббла был равен этому значению 0,072, а в первую половину он имел некоторое значение H_7, из-за которого средняя величина и получилась равной 0,046. Это первое значение параметра Хаббла из условия усреднения равно

$$H_{13} = \frac{H_7 + H_{14}}{2}$$

$$H_{13} = \frac{H_7 + H_{14}}{2} \quad \rightarrow \quad H_7 = 2\cdot H_{13} - H_{14} \approx 0,019$$

То есть, в рассмотренном случае параметр Хаббла увеличился почти в 4 раза. На диаграмме рис.5.2 мы изобразили траекторию Земли Ro = 13 относительно этой галактики, но со средним значением постоянной Хаббла H_{13}. Если использовать оба его значения, то график будет несколько иным, с изломом в точке t = 7 млрд. лет. Также мы обязаны признать, что величину $R_{13,8} = 24,5$ мы использовали неправомерно. Дело в том, что обе величины – $R_{13,8}$ и H_{13} являются взаимозависимыми.

На самом деле мы обязаны были найти эти величины итерационным методом. Берём исходное значение величины $R_{13,8}$ и находим параметр H_{13} описанным способом. Далее следует заново построить фотонную траекторию и найти новое значение $R_{13,8}$. Итерацию следует продолжать до тех пор, пока каждое новое её значение будет мало отличаться от предыдущего. Мы остановились на

первом шаге, поскольку нас сейчас *точное* значение этих величин не особо интересует. Задача решена исключительно в демонстрационных целях.

Мы использовали при построении траектории Земли усреднённое значение параметра Хаббла. Покажем, что это правомерно и усреднённое значение параметра Хаббла даёт тот же результат, что и его составляющие. Мы приняли, что изменение параметра произошло на половине времени существования Вселенной, то есть, каждый этап длился 7 млрд. лет. Пусть галактика находилась изначально на удалении R_0 от Земли. Тогда за первую половину эта удалённость увеличилась до величины R_1

$$R_1 = R_0 e^{H_1 \frac{t_{14}}{2}}$$

За вторую половину с новым значение параметра окончательно увеличение составило

$$R_2 = R_1 e^{H_2 \frac{t_{14}}{2}} = \left(R_0 e^{H_1 \frac{t_{14}}{2}} \right) e^{H_2 \frac{t_{14}}{2}} = R_0 e^{H_1 \frac{t_{14}}{2} + H_2 \frac{t_{14}}{2}} = R_0 e^{(H_1 + H_2)\frac{t_{14}}{2}}$$

Если параметр Хаббла всегда был равен некоторому среднему значению H_3, то с ним удалённость галактики R_3 за полное время составила ту же самую, что и в "составном" случае, то есть, R_2. Следовательно

$$R_3 = R_0 e^{H_3 t_{14}} = R_2 = R_0 e^{(H_1 + H_2)\frac{t_{14}}{2}}$$

Сокращая, находим

$$e^{H_3 t_{14}} = e^{(H_1 + H_2)\frac{t_{14}}{2}} \quad \rightarrow \quad H_3 = \frac{H_1 + H_2}{2}$$

Именно это усреднённое значение параметра H_3 мы использовали в приведённых выше вычислениях

$$H_3 = \frac{H_1 + H_2}{2} = \frac{0{,}019 + 0{,}072}{2} = \frac{0{,}091}{2} \approx 0{,}046$$

Это и означает, что если параметр Хаббла имел два разных значения на разных этапах расширения простран-

ства, то его итог будет таким же, как и расширение со средним значением параметра.

Парадокс ускоренного расширения

Выше мы отметили, что расхождение в величине предельной удалённости связано с разницей *характера* и значений параметра Хаббла. Астрономические наблюдения, как считается, соответствуют *ускоренному* расширению и возрастающему значению параметра. А вычисленный нами предел – *неизменному*, современному значению параметр. Но вот что интересно. Открытие ускоренного расширения научная общественность восприняла с удивлением, но доброжелательно. Однако при его даже поверхностном анализе возникает сомнение: что-то в этом выводе не так. Никто не заметил, вообще-то, очевидной странности, даже явного парадокса, если не сказать, противоречия. Известно, что *негласным* основанием для констатации ускорения послужило обнаружение пониженной яркости самых дальних галактик, сверхновых Ia. Удивительно, но никто не задумался, что это означает на самом деле. А ведь это хорошо известно абсолютно всем: чем *дальше* источник света, тем он бледнее, менее ярок. Следовательно, наблюдаемые дальние сверхновые потому менее яркие, что они попросту находятся *дальше*, чем это предсказывает стандартный закон Хаббла. Из этого следуют довольно простые, но странные вычисления. Согласно закону Хаббла *ожидаемая* удалённость R_H этой сверхновой, находившейся изначально на удалении R_0 от Земли и удаляющейся с параметром H_0, равна

$$R_H = R_0 e^{H_0 t_{14}}$$

Но согласно полученным выводам авторов ускоренного расширения Вселенной, расширение пространства

состояло из двух этапов, двух интервалов времени. Примем для простоты, что каждый из этих двух интервалов времени равен $t_{14}/2$. На первом этапе Вселенная расширялась с параметром H_1, а на втором – с параметром H_2. Следовательно, итоговое удаление сверхновой следует записать иначе. На первом, исходном интервале времени галактика удалилась на расстояние

$$R_{H1} = R_0 e^{H_1 \frac{t_{14}}{2}}$$

На следующем этапе это расстояние вновь увеличилось, испытав очередное хаббловское расширение

$$R_{H2} = R_{H1} e^{H_2 \frac{t_{14}}{2}} = \left(R_0 e^{H_1 \frac{t_{14}}{2}} \right) e^{H_2 \frac{t_{14}}{2}}$$

В наши дни параметр Хаббла может быть только один и тот же для обоих вариантов расширения, то есть, $H_2 = H_0$. Согласно разнице в яркости, мы признали, что в случае "составного параметра Хаббла" галактика находится дальше, чем при удалении с неделимым, как считалось ранее, параметром H_0. Вновь для удобства, для удобства логарифмирования и, поскольку эта разница не принципиальна, примем увеличение R_{H2} относительно R_H равным $e \approx 2{,}72$. То есть, во столько раз *фактическая* удалённость R_{H2} оказалась больше, чем *ожидаемая* R_H

$$e \cdot R_H = R_{H2}$$

Для сопоставимости разобьём уравнение для H_0 также на два равных интервала времени и приравняем две сравниваемые удалённости

$$R_H = R_0 e^{H_0 t_{14}} = R_0 e^{H_0 \frac{t_{14}}{2}} e^{H_0 \frac{t_{14}}{2}}$$

$$R_{H2} = R_0 e^{H_1 \frac{t_{14}}{2}} e^{H_0 \frac{t_{14}}{2}}$$

$$e \cdot R_0 e^{H_0 \frac{t_{14}}{2}} e^{H_0 \frac{t_{14}}{2}} = R_0 e^{H_1 \frac{t_{14}}{2}} e^{H_0 \frac{t_{14}}{2}}$$

В среднем и последнем уравнении мы приняли очевидное значение параметра Хаббла на втором этапе расширения – оно равно наблюдаемому ныне значению – H_0. Понятно и не оспаривается, что все параметры в этих уравнениях могут быть величинами переменными. Но мы рассматриваем некий условный вариант "скачкообразного" изменения постоянной Хаббла. Просто рассматривая вариант пониженной яркости сверхдальних галактик. Производим сокращения в последнем уравнении и логарифмируем его, чтобы сопоставление параметров было математически более наглядным

$$e \cdot e^{H_0 \frac{t_{14}}{2}} = e^{H_1 \frac{t_{14}}{2}}$$

$$1 + H_0 \frac{t_{14}}{2} = H_1 \frac{t_{14}}{2}$$

И обнаруживаем предположенный выше парадокс

$$H_1 = H_0 + \frac{2}{t_{14}}$$

Итог показывает, каким бы ни было значение времени t_{14}, первоначальный, древний параметр Хаббла H_1 явно больше наблюдаемого ныне H_0. Другими словами, Вселенная сначала расширялась с большим параметром Хаббла H_1, затем, в наши дни его значение уменьшилось до современного H_0. Таким образом,

Вселенная расширяется замедленно, поскольку пониженная яркость самых дальних галактик означает их большее удаление, чем это следует из стандартного закона Хаббла. Такое большее удаление может быть только в случае их более быстрого удаления в прошлом.

Как говорится, навскидку, мы можем предположить, что разбиение времени существования Вселенной на

большее число интервалов, то есть, имитация более или менее плавного роста – уменьшения параметра Хаббла даст точно такой же итог. Но при этом сразу же возникает вопрос: выше столь же строго математически мы пришли к выводу об ускоренном расширении Вселенной. А это уже парадокс – два доказанных взаимоисключающих вывода. В чём причина расхождения?

Объяснение может быть двояким. Либо с пониженной яркостью что-то не так: если галактика менее яркая, значит, она более далёкая и, соответственно, ранее удалялась быстрее. Либо мы напрасно отказались от итерационного нахождения усреднённого параметра Хаббла. Видимо, он должен был получиться существенно больше, чем его нынешнее значение. В результате упрощения в разряд парадоксов попадает утверждение о наблюдении ныне галактик, находящихся на удалении в 12 млрд. световых лет. Согласно нашим вычислениям, такая удалённость может наблюдаться только с усреднённым значением постоянной Хаббла, превышающим нынешнее. В этом случае начальная удалённость самой дальней видимой ныне галактики должна быть больше вычисленных нами 9 млрд. световых лет. Впрочем, и в этом случае следует вывод о замедленном расширении Вселенной. Однако мы остановимся на констатации парадокса, хотя последние наши вычисления по яркости галактик выглядят, на наш взгляд, более прозрачными и логичными.

Три разные удалённости

Вывод о замедленном расширении Вселенной в наших рассуждениях самоцелью не являлся, возник он случайно и совершенно неожиданно. Поэтому просто отложим его и вернёмся к нашим исследованиям наблюдае-

мой дальности, видимости Вселенной. Можно отметить, что у любой *наблюдаемой* галактики фактически есть три разные удалённости. Условно говоря, галактика как бы находится в трёх местах одновременно. Это *удалённость* на момент излучения, затем *удалённость* "видимая" в телескоп и, наконец, *удалённость*, на которой галактика находится в наши дни на самом деле. Математически все они взаимосвязаны. Например, видимая в телескоп галактика испустила этот свет много лет назад. Пока этот свет шёл до телескопа, Земля с телескопом удалилась ещё дальше. Галактика к этому моменту вообще могла исчезнуть. Хотя это явное наблюдение, явная регистрация фотонов, но взгляд этот – в прошлое. Видимая удалённость говорит лишь о том, что эта галактика просто входит в перечень наблюдаемых, доступных для наблюдения в данный момент. Эта удалённость напрямую ничего не говорит о границах, *доступных* для наблюдения.

Как мы отметили, галактику с начальной удалённостью $R_0 = 9$ на нынешней её удалённости с $R_{14} = 24{,}5$ мы больше никогда не увидим. Но свет от неё, во-первых, показывает, как она выглядела 14 млрд. лет тому назад, а по яркости и красному смещению мы видим её такой, будто она удалена от нас на расстояние, которое равно именно 9, а вовсе не 25 млрд. св. лет. Угол между графиками, траекториями Земли и фотонов на рис.5.2 пропорционален их *относительной* скорости. Если сравнить угол между графиками в момент излучения и в момент их пересечения, то окажется, что в момент получения фотонов на Земле их относительная скорость отличается от той, что была в момент их излучения. Эта относительная скорость между источником и приёмником *возросла*, возросла скорость убегания Земли от догоняющих её фотонов, что привело к появлению *красного* смещения. Однако сейчас по рисунку

определить его величину и удалённость по этому красному смещению непросто. Что касается яркости, то геометрически фотоны в момент излучения находились на расстоянии 9 млрд. св. лет от Земли, то есть, фактически прошли только этот *относительный* путь, и их яркость уменьшилась обратно пропорционально квадрату именно этого расстояния. Следовательно, визуально, по яркости стандартной свечи наблюдатель *обязан* зафиксировать именно это расстояние. Таким образом, отмеченные удалённости галактики имеют следующие три приведённые выше значения: 9 млрд. св. лет на момент излучения; 25 млрд. св. лет – действительная удалённость на момент получения света от неё; и 9 млрд. св. лет по яркости сверхновой. Судя по всему, первая и последняя удалённости *всегда* равны друг другу, хотя смысл их различен. То есть, то расстояние, которое регистрируют астрономы – это действительная удалённость источника сейчас и удалённость на момент излучения полученного света. Очевидно, к радиусу *наблюдаемой* Вселенной по смыслу следует отнести эти две удалённости ввиду их равенства или, как вариант, удалённость *базовую*, на момент *излучения*, то есть, самое первое, исходное местонахождение *самой далёкой* доступной для наблюдения галактики. Именно эта точка предопределяет, будет ли в будущем галактика видна и когда именно. Зная этот радиус, мы можем предсказать, даже не наблюдая галактику из этой области, будет ли она видна в будущем.

Наконец, галактику на фактической удалённости, в противовес полученному от неё излучению, ни в каком смысле нельзя назвать наблюдаемой, видимой. В нашем примере это 25 млрд. св. лет. Такой радиус видимости правильнее назвать радиусом *невидимости*, поскольку с этой дистанции *новый* свет от галактики не только *ещё* не дошёл, а *вообще* никогда не дойдёт до Земли. Разумеется,

вычислить это положение галактики можно, но называть его наблюдаемым нельзя. Вопрос о наблюдаемой Вселенной сводится к определяющему слову "наблюдаемой". То, что мы видим в телескоп, это и есть то самое наблюдаемое. Вряд ли можно назвать наблюдаемым объект, который ещё не виден, либо вообще уже где-то далеко. Если по яркости и красному смещению мы определяем удалённость, то это означает, что этот объект на момент *излучения* находился именно в *этой* точке, на этом удалении. Свет от него шёл долгие годы, поэтому мы видим объект в его прошлом состоянии, а сам объект сейчас, в *данный* момент находится уже в другом месте, далеко от вычисленного нами. Можем ли мы назвать все другие объекты, находящиеся на таком же расстоянии, радиусом наблюдаемой Вселенной? Никаких объектов далее этих, мы не видим. Но и на *этой* удалённости никаких объектов на самом деле уже давно нет. Вернее, там теперь находятся другие галактики, пришедшие на смену тем, свет от которых мы видим сегодня. Тем не менее, логичнее всё-таки считать, что радиус наблюдаемой области именно эта *условная*, "опустевшая" удалённость, с которой исчезли ныне наблюдаемые объекты. При этом мы обязаны осознавать, что видим эти объекты "в молодости", никаких объектов в возрасте "сегодня" мы не можем наблюдать в принципе.

Таким образом, радиусом *наблюдаемой* Вселенной правильнее всего считать самый дальний из реально *наблюдаемых, видимых* объектов. Говорить, что "наблюдаемой" дальностью, радиусом является область, куда эти объекты переместились, неверно. Мы их не наблюдаем и, скорее всего, никогда больше не увидим. Например, было бы странно, глядя на фото ребёнка, говорить, что это фотография взрослого человека, поскольку ребёнок где-то там, далеко уже вырос, повзрослел. Просто его фото слишком

долго шло почтой. Очевидно также, что максимальный, предельный радиус наблюдаемости однозначно зависит от нынешнего возраста Вселенной и момента излучения. Этот радиус не является *горизонтом* видимости, поскольку со временем он будет возрастать, и дальность наблюдаемых объектов также будет расти. Иначе говоря, радиус наблюдаемой Вселенной следует дополнить словом "сегодня", то есть, *сегодняшний* радиус наблюдаемой Вселенной.

Заметим, что эти наблюдения – фактические, и мы лишь *предполагаем*, когда эти объекты родились: вчера, или сразу после Большого Взрыва. Для определения их удалённости необходим практически только закон Хаббла и их красное смещение. Яркость может характеризовать удалённость только объектов с точно известными параметрами, например, сверхновые Ia. Другими словам: радиусом наблюдаемой Вселенной следует считать *кажущееся* расстояние до самого далёкого *наблюдаемого* объекта, а не то расстояние, на котором он находится фактически. Кстати, следует повторить, напомнить важное уточнение. Ни по красному смещению, ни по яркости мы никогда не увидим объекты на удалении большем, чем радиус сферы Хаббла. Причём, чем объект ближе к ней, тем позднее мы его увидим. Но что тогда следует считать *горизонтом* наблюдаемой Вселенной, горизонтом *видимости*? Рассуждая логически, можно прийти к выводу, что это такая удалённость, с которой свет ни от одного объекта не способен достичь Земли. Это не означает, что он невидим лишь сейчас, а в каком-то далёком будущем станет видимым. Нет, он не будет видимым *никогда*. Поэтому горизонтом видимости Вселенной следует считать радиус сферы Хаббла. При этом возможна ситуация, когда объект сначала находился внутри сферы Хаббла, но через некоторое время ушел за неё, был унесён расширяющимся пространством. Наблю-

датель в центре сферы через какое-то, видимо, весьма продолжительное время увидит этот объект, но со временем он погаснет, исчезнет, с каждым наблюдением становясь всё более тусклым.

Можно ограничиться и одним параметром – горизонтом видимости, равным сфере Хаббла. Это тоже *возможный* радиус наблюдаемой Вселенной, просто некоторые объекты мы *пока* не увидели. Причины могут быть разными: там, под сферой попросту нет никаких объектов; они слишком бледные и поэтому не видны; они пока ещё не начали излучать свет; они находятся слишком близко к сфере Хаббла, поэтому увидим их мы не скоро. И, пожалуй, самая интересная причина – красное смещение настолько велико, что оптическое излучение превратилось в радиоизлучение. Можем ли мы наблюдать радиоволну длиной, например, в астрономическую единицу?

Итак, мы пришли к выводу, что реальным, объективным *показателем* доступности для наблюдения галактик является их положение относительно *горизонта* видимости или сферы Хаббла. Его предварительную величину мы получили простым подбором, "на глазок" с помощью наших графиков и уравнений. Полученная величина предельной начальной удалённости галактики, с которой она ещё будет видна, оказалась равной 14,25 млрд. св. лет. Графики движения фотонов $R_ф$ и убегающей от них Земли $R_Н = 14{,}25$ показаны на рис.5.3. График $R_Н$ мы строили подбором, что называется, интуитивно, на глазок, добиваясь того, чтобы он выглядел "опережающим" график фотонов $R_ф$. В этом случае Земля для галактики находится на горизонте видимости, на сфере Хаббла. Видим, что радиус *классической* сферы Хаббла, по определению равный 13,8 млрд. световых лет, заметно меньше найденных нами 14,25 млрд. св. лет. Отклонение составило примерно 3,3%

и причина этого отклонения состоит *только* в ограниченной точности использованного нами способа вычислений.

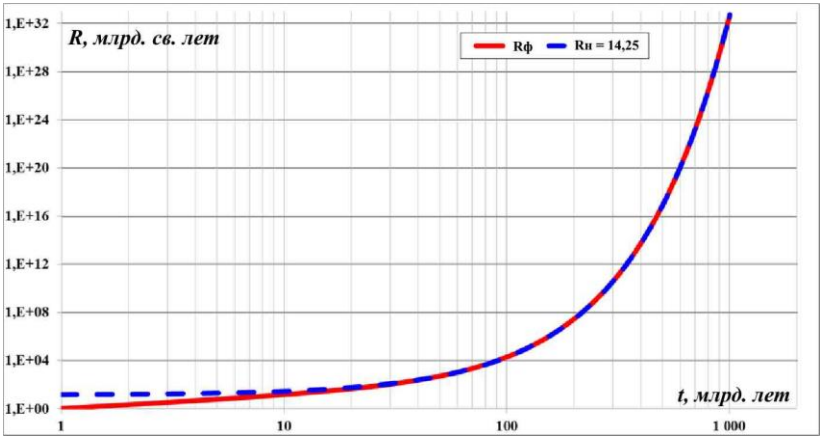

Рис.5.3. Галактика на горизонте Вселенной

Для получения более точного значения горизонта далее мы использовали уравнение (5.10) и уравнение вида (5.4). Это расчётное уравнение позволяет использовать, задавать разные значения дискретности n и фиксированного значения максимального времени наблюдения T_H. Условием было совпадение дистанций, пройденных фотонами – $R_ф$ и Землёй – R_E за одно и то же время

$$R_E = R_H e^{Ht}$$

$$R_ф = L_{10} = \frac{t}{n} \times [\underbrace{(q+1)q+1)q+1)q+1)q+...+1)q+1)q}_{m-слагаемых}]$$

Преобразуем верхнее уравнение для определения горизонта видимости

$$R_H = \frac{R_E}{e^{Ht}} = \frac{R_ф(n)}{e^{Ht}}$$

Теперь, меняя дискретность n от 1'000 до 100'000, находим для каждой из них соответствующее значение R_H. В качестве предельного расчётного времени T_H выбран до-

статочно большой интервал – t = 1'000 млрд. лет. Итог вычислений представлен в виде следующего графика на рисунке рис.5.4. Как видим, горизонт Вселенной, радиус сферы Хаббла асимптотически стремится к радиусу Вселенной R_H = 13,8 млрд. св. лет. Таким образом, мы можем с полным правом принять за итог вычислений именно это классическое значение.

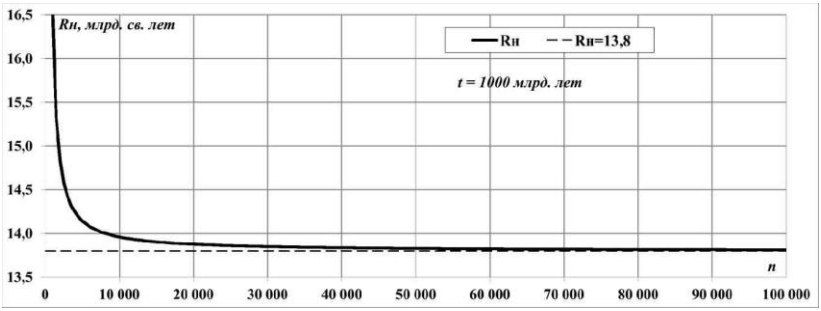

Рис.5.4. Вычисление горизонта Вселенной

На рассмотренном интервале от 1 и до 1'000 млрд. лет мы видим, что лишь после примерно 30 миллиардов лет фотон окажется вблизи вероятной *предельной* области наблюдения. То есть, он, буквально, "зависнет" в самой близости от горизонта и будет находиться в таком "зависшем" состоянии *вечно*. Если в момент испускания он окажется чуть ближе, его зависания не будет, но точная дата его наблюдения теперь определяется этим "чуть ближе" и может быть как 50, так и 2 000 миллиардов лет. Таким образом, эта начальная дистанция имеет все признаки классического "горизонта событий", но также и сферы Хаббла, горизонтов фотонов и частиц. Если начальная удалённость галактики превышает, даже ненамного, величину *горизонта* Вселенной, радиуса сферы Хаббла, то такую галактику на Земле не увидят никогда. На следующем графике, диаграмме рис.5.5 это видно для начальной удалённости, равной R_0 = 20 млрд. световых лет. Из гра-

фика следует, что скорость убегания Земли от галактики превышает скорость догоняющих её фотонов. На диаграмме мы выбрали логарифмический вид вертикальной оси, чтобы показать максимальный фрагмент диаграммы. Но в этом случае соотношение двух графиков стало менее наглядным: неясно кто кого опережает.

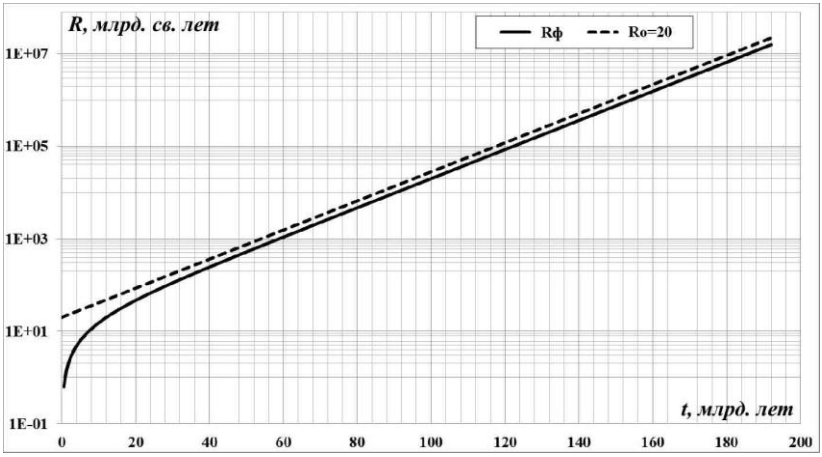

Рис.5.5. Галактика за горизонтом Вселенной

Поэтому для большей наглядности на диаграмме рис.5.6 приведены два фрагмента графиков движения Земли R_0 и фотонов $R_ф$ до 40 и после 180 миллиардов лет. На первом графике видим, что с самого начала расширения пространства Земля движется быстрее фотонов и с каждым моментом удаляется от них. На втором фрагменте видим, что оба объекта движутся практически "синхронно", друг за другом, но на некотором, всё возрастающем расстоянии между ними. Лишь на начальном этапе фотоны находились на максимально близком расстоянии от Земли, но в дальнейшем их "догоняющая" скорость все больше отстаёт от скорости Земли. Преодолеть исходный интервал между ними фотоны не смогут. И здесь мы должны отметить весьма неожиданный факт, связанный с неверной трактов-

кой видимости. Получается, что размер горизонта Вселенной оказался *меньше* радиуса наблюдаемой Вселенной, горизонт *меньше* расстояния видимости. Только представьте себе: на Земле горизонт находится на удалении в несколько километров, но наблюдатель видит объекты, отстоящие от него на сотни километров. Видит не как миражи, а как реальные объекты, прямым наблюдением. Это даже не парадокс, а определённо абсурд.

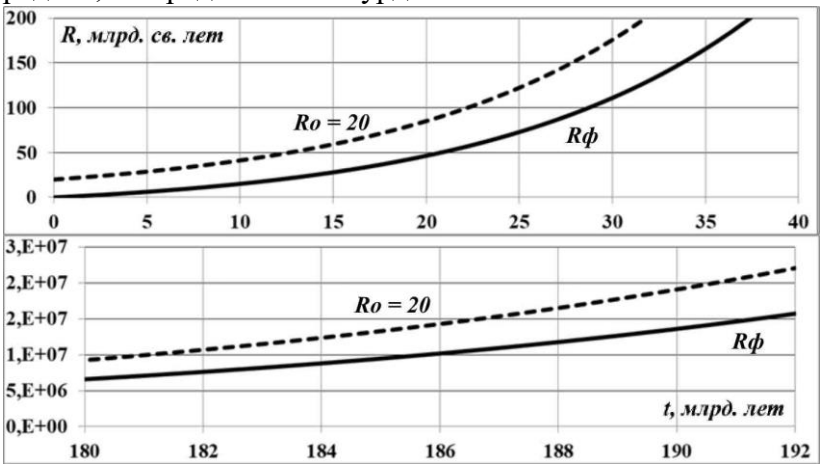

Рис.5.6. Галактика за горизонтом - увеличено

Однако в рассмотренной ситуации со Вселенной никакого абсурда нет. Сфера Хаббла имеет строго определённый, в нашем случае неизменный радиус, но якобы радиус видимости, как мы обнаружили на диаграммах, может быть сколь угодно большим, вплоть до бесконечности. Мы написали "якобы радиус видимости", поскольку, повторим, это неверная его трактовка. Радиус видимости определяется не сегодняшним положением наблюдаемых галактик, а их исходным положением, поэтому он всегда меньше радиуса сферы Хаббла. Напомним, что исходное положение, *исходная* удалённость галактики всегда равна его *видимой* удалённости. Правда, следует уточнить, этот

радиус видимости, наблюдаемости всё-таки *технически* ограничен величиной красного смещения. При некотором его предельном значении фотонное излучение уже вряд ли можно зарегистрировать. Следует, поэтому, уточнить, подкорректировать название классической сферы Хаббла – это фотонная или, иначе говоря, электромагнитная сфера. Возможны и другие сферы Хаббла, например, нейтринная сфера Хаббла. Соответственно, и радиус наблюдаемости также может быть либо фотонным, электромагнитным, либо нейтринным. Нейтрино, как считается, имеет массу покоя, поэтому не является электромагнитным излучением, и, следовательно, не подвержено красному смещению. Но это, в свою очередь, существенно усложняет, если не исключает полностью возможность определения удалённости его источника, если она превышает предельное значение фотонной сферы Хаббла. Из-за наличия массы покоя нейтрино движется медленнее света, поэтому и радиус R_η нейтринной сферы Хаббла меньше радиуса фотонной, $R_\eta < R_H$. Если галактика, источник нейтрино находится в непосредственной близости от нейтринной сферы Хаббла, внутри неё, то двигаться до Земли её нейтрино без угасания могут сколь угодно долго. Но, повторим, пройденное ими расстояние всегда меньше радиуса нейтринной сферы Хаббла. Тем не менее, и в этом случае существует проблема. Неясно, как определить, с какой *исходной* удалённости, удалённости в момент излучения пришли те или иные нейтрино. Для них нет соответствующих стандартных свечей наподобие сверхновых типа Ia.

Такое странное соотношение радиуса наблюдаемой Вселенной и горизонта Вселенной связано, следовательно, с тем, что скорость расширения пространства слабо, малозаметно зависит от времени, а *эффективная* скорость движения фотонов и частиц – зависит, поскольку зависит от

их положения относительно сферы Хаббла. Фотоны от источника вблизи сферы Хаббла могут двигаться относительно Земли с любой малой скоростью, вплоть до бесконечно малой. Если по-прежнему считать их скорость световой, то получается, что за достаточно большое время они пройдут эквивалентно большее расстояние, чем радиус сферы. Другими словами, с точки зрения Земли фотоны прошли расстояние не более радиуса сферы Хаббла, а с точки зрения фотонов – они прошли кратно большее расстояние. Вплоть до бесконечности.

Чем ближе галактика к сфере Хаббла, тем дольше свет от неё идёт до Земли. Но по яркости сверхновых их видимая удалённость всегда будет меньше радиуса сферы Хаббла. Спустя триллионы и триллионы лет, все без исключения галактики по яркости будут видны находящимися вблизи сферы Хаббла, хотя и само понятие яркости будет существенно иным. Но их красное смещение будет стремиться к бесконечности, поскольку на момент излучения получатель, Земля удаляется от них практически со скоростью света. Таким образом, мы приходим к выводу

Предельным радиусом наблюдаемой Вселенной следует считать такую удалённость объектов, на которой именно сегодня они могут быть наблюдаемыми в принципе. Этот радиус ограничен только сферой Хаббла, но связан косвенно с характером сигналов, физической возможностью их наблюдения.

Радиусом *реально* наблюдаемой сегодня Вселенной следует считать удалённость до *реально* наблюдаемых объектов. Такой радиус зависит от технических возможностей средства наблюдения. Согласно астрономическим наблюдениям в наши дни он не превышает 12 – 13 милли-

ардов световых лет. Возраст наблюдаемых галактик может быть любым, вплоть до бесконечности. Такой же бесконечной может быть и *сегодняшняя* удалённость наблюдаемой галактики. Но видимая по яркости удалённость всегда меньше радиуса сферы Хаббла, являющейся горизонтом видимости Вселенной.

Горизонтом электромагнитной видимости Вселенной следует считать фотонную сферу Хаббла, имеющую конечное значение радиуса.

Напомним, что мы приняли значение постоянной Хаббла неизменным, H = const. Соответственно, классическая сфера Хаббла в этом случае имеет радиус 13,8 миллиардов световых лет. Сфера Хаббла для частиц с массой покоя, например, нейтринная имеет, очевидно, меньший радиус. Сферы Хаббла устанавливают предельную *исходную* удалённость объектов, которые могут быть наблюдаемы *в принципе* либо по электромагнитному излучению, либо по массивным частицам. Очевидно, в случае роста параметра Хаббла, то есть, ускоренного расширения Вселенной радиус сферы Хаббла уменьшается.

Следует признать, что приведённые выше выкладки, наши рассуждения противоречат выводам традиционной науки, то есть, мнению практически всех современных космологов, физиков. Мы заявляем, что мнение этих исследователей о горизонтах Вселенной является ошибочным. Ещё раз чётко отметим: под наблюдаемостью следует понимать буквально именно это – визуальную или приборную регистрацию объекта, то есть, *получение* от него некоторого электромагнитного или какого-либо иного сигнала. Очевидно, при отсутствии этих сигналов, нет никаких оснований говорить о каком-либо наблюдении. Если

наблюдаемый сигнал пришёл с исходного расстояния в 12 млрд. св. лет, то совершенно неверно заявлять, будто *наблюдаемый* объект находится на удалении 46 млрд. св. лет. По сути, там находится уже иной объект. Вместе с тем и вопреки нашим утверждениям, в вопросе, насколько удалены эти объекты, общепризнанным является именно ошибочное мнение. Например, на сайте "Мир космоса" есть несколько замысловатое описание, согласно которому диаметр наблюдаемой части космоса равен 93 млрд. световых лет [28]. Расчёты, обоснования в этой заметке не приведены.

Интересный пример из зарубежной статьи привел Голованов. В статье описывается свет, идущий к Земле от некоторой галактики. За время его движения расстояние до Земли выросло с 87 световых лет до 173. На вопрос о том, какой же путь прошли фотоны, даётся без обоснований ответ: больше 87, но меньше 173 световых лет [13]. Далее указано, что самый дальний источник света в нашей Вселенной *сейчас* находится от нас на удалении в 27,6 млрд. световых лет. Заметим, что с этими ответами мы в целом согласились и, более того, исследовали это явление и пришли к озвученным в данной работе выводам. Правда, у нас расстояние до самого дальнего источника получилось чуть меньше – около 25 млрд. св. лет. Однако в указанной статье приведен и ещё один ответ: для Вселенной, наполненной материей – это 41,4 млрд. св. лет. В заключение без обоснований приведена ещё одна предельная удалённость видимого в наши дни объекта, которая встречается во многих других статьях – 46 млрд. св. лет.

Близкая цифра в 45,7 млрд. св. лет указана на сайте pikabu4 [33]. Эту же удалённость указывает Заболоцкий, называя её горизонтом частиц и границей наблюдаемой Вселенной. В качестве обоснований он указывает, что пока

фотон достигнет наблюдателя, объект, который его испустил, будет от нас уже на этом удалении [17]. Однако, как мы отметили, это, во-первых, уже другой объект, которого даже может уже и не быть, а, во-вторых, как он выглядит на этом удалении, мы уже никогда не увидим. Приблизительно такую же удалённость в 46,5 млрд. св. лет приводят без обоснований Чернышенко [42] и Котов [22].

Отметим, что приведённые мнения, цитаты принадлежат ранее неизвестным нам авторам, исследователям. Но такого же мнения придерживаются и известные авторитетные учёные. В одной из интернет – лекций астроном Сурдин на вопрос об истинном размере Вселенной ответил, что число 42 млрд. световых лет не имеет никакого отношения к истинному размеру Вселенной. Он указал, что эту удалённость наблюдаемых источников, неясно, какую именно – 42 или какую-то иную, можно рассчитать, но ссылок на эти расчёты не привёл. Указанное им число немного отличается от приведённого выше, 46 млрд. св. лет, но это несущественно. [39, 30:49].

Путаница с расширением...

Заметим, что иные, кардинально отличающиеся цифры о размерах наблюдаемой Вселенной найти не удалось. Более того, первая встретившаяся нам работа, в которой дана ссылка на *единственный* источник, первоисточник, статью "Expanding Confusion..." [4] (в переводе – "Путаница с расширением..."), в которой описано появление этой удалённости в 46 млрд. св. лет – это раздел "Метагалактика" на сайте Википедия [27].

В указанной статье приведены диаграммы, из которых следует именно эта удалённость объектов, свет от которых дошёл до нас за время существования Вселенной и

это расстояние названо радиусом наблюдаемой Вселенной. Утверждается, что теперь эти *наблюдаемые* объекты находятся в 46 млрд. св. лет от нас [4, с.3]. Искать математические ошибки в приведённых выкладках не имеет смысла, поскольку за время, прошедшее после публикации статьи, их бы уже обнаружили. Несомненно, выкладки строго соответствуют современным физическим представлениям. Поэтому обратим внимание на другое, на общий логический смысл выводов в статье.

В статье приводится ошибочное утверждение, что мы можем наблюдать галактики, которые имеют и всегда имели скорости удаления, превышающие скорость света [4, с.1]. При этом сразу же отвергается, пресекается возможная критика этого утверждения с позиций специальной теории относительности, правда, как-то странно. Заявлено, что попытки применить концепции СТО к Вселенной противоречат наблюдениям [4, с.2]. Вообще-то, это утверждение само противоречит как специальной теории относительности, так и закону Хаббла. Строго говоря, это "противоречие" привело к выводу об ускоренном расширении Вселенной. Было бы уместно показать в статье более явно, как до наблюдателя доходит свет от объекта, удаляющегося от него со сверхсветовой скоростью.

Целью статьи "Expanding Confusion..." в соответствии с её названием является разъяснение, опровержение трёх "распространенных космологических заблуждений". Рассмотренное выше – это третье из них, самое интересное, о возможности наблюдении сверхсветовых галактик. Возможность наблюдения таких галактик обосновывается тем, что со сверхсветовой скоростью удаления фотонов удаляется, отступает также и сфера Хаббла [4, с.8]. Более того, сфера Хаббла удаляется от наблюдателя в её центре *быстрее*, чем сверхсветовые фотоны. Объяснение начина-

ется с признания того, что в замедляющихся Вселенных параметр Хаббла уменьшается, а завершается утверждением, что и в ускоряющихся Вселенных этот параметр имеет такую же тенденцию к уменьшению [4, с.8]. Тогда становится совершенно неясным, а что, собственно, означает "ускоренно расширяющаяся Вселенная"?

Вся приведённая концепция и критика построена на, прямо скажем, *фундаментальном* утверждении: производная от масштабного фактора увеличивается медленнее, чем сам масштабный фактор [4, с.8]. Повторим: это базовое, фундаментальное положение, лежащее в основе всех критических заявлений в статье. Поэтому доказательство этого положения следовало бы привести в первую очередь. Нам это доказательство не встретилось. Взамен мы можем привести наше собственное несложное доказательство. Уравнения для масштабного фактора и его производной в случае неизменности параметра Хаббла имеют вид

$$a = a_0 e^{Ht}$$

$$\dot{a} = H a_0 e^{Ht}$$

В этом случае, отношение этих двух величин определяется константой – постоянной Хаббла, то есть, в равномерно расширяющейся Вселенной отношение их *неизменно* независимо от времени наблюдения. Если же параметр Хаббла зависит от времени, то, используя исходные уравнения для масштабного фактора и его производной, соотношение скоростей их роста следует описать, например, следующим образом

$$a = a_0 e^{H(t)t}$$

$$\frac{\dot{a}}{a} = \frac{H(t)\cdot[\dot{H}(t)t + H(t)]\cdot a_0 e^{H(t)t}}{a_0 e^{H(t)t}} = H(t)\cdot[\dot{H}(t)t + H(t)] \quad (5.11)$$

Из этого уравнения следует очевидный вывод, что, превышение скорости роста числителя над знаменателем

определяется скоростью роста самого параметра Хаббла, причём пропорционально ему и его производной, то есть, его скорости роста. Но что означает скорость роста параметра Хаббла? А оно это и означает: если параметр Хаббла уменьшается, то и скорость роста *производной* масштабного фактора меньше скорости роста *самого* масштабного фактора, а это соответствует *замедленному* расширению Вселенной. Подчёркиваем: замедленному, а не ускоренному, как ошибочно заявлено в статье. В ускоренно расширяющейся Вселенной параметр Хаббла растёт, следовательно, скорость роста производной масштабного фактора *превышает* скорость роста самого масштабного фактора. То есть, на самом деле производная от масштабного фактора *всегда* растёт *пропорционально* самому масштабному фактору и коэффициент этой пропорциональности – постоянная или параметр Хаббла. Рост или уменьшение постоянной Хаббла определяется только и только *функцией* масштабного фактора. Это уравнение (5.11) относится равным образом к любому характеру расширения Вселенной, различаясь лишь поведением масштабного фактора и параметра Хаббла. Если это две *разные* Вселенные, а в статье они так и названы: ускоренная и замедленная, то не могут в них эти параметры вести себя *тождественно*. В этом случае это две *тождественные* Вселенные и давать им два взаимоисключающих названия нельзя.

По большому счету масштабный фактор нас вообще не должен интересовать, поскольку главным параметром в дальнейшем для нас является только параметр Хаббла. Поэтому мы сразу можем задать как функцию от времени именно его. Допустим, например, что он *увеличивается* по закону $H = H_0(1+mt)$. Тогда *анализируемый* радиус сферы Хаббла в некоторый момент времени равен:

$$R_H = \frac{c}{H(t)} = \frac{c}{H_0(1+mt)}$$

Как видим, в этом случае радиус сферы Хаббла к этому моменту времени уменьшился. Для простоты примем, что рост параметра начался в наши дни, а коэффициент m = 1/14, тогда:

$$R_H = \frac{14}{1+mt} = \frac{14\times 14}{14+t} = \frac{196}{14+t}$$

То есть, начиная с наших дней параметр Хаббла возрастает, начиная от современного значения $H_0=1/T_{14}=1/14$. Видим, что за следующие 14 млрд. лет радиус сферы Хаббла уменьшится ровно в 2 раза:

$$R_0 = \frac{c}{H_0} = 14 \quad \rightarrow \quad R_{14} = \frac{196}{14+14} = 7$$

Иначе говоря, поверхность сферы Хаббла всё это время двигалась в сторону наблюдателя со скоростью:

$$v_H = \dot{R}_H = \frac{d}{dt}\left(\frac{196}{14+t}\right) = \frac{196}{(14+t)^2}$$

Ведёт это к тому, что всё более и более близкие к наблюдателю на Земле галактики оказываются за пределами сферы Хаббла, то есть, становятся невидимыми. Конечная скорость этой сферы, через 14 млрд. лет будет равна четверти скорости света:

$$v_H = \frac{196}{(14+14)^2} = \frac{1}{4}$$

Понятно, что это частный случай скорости для рассмотренного закона возрастания параметра Хаббла. В общем случае скорость уменьшения сферы Хаббла может быть любой, сколь угодно большой:

$$v_H = \dot{R}_H = \frac{d}{dt}\left(\frac{c}{H_0(1+mt)}\right) = \frac{mc}{H_0(1+mt)^2}$$

В частности от наших дней через 1 млрд. лет и значении m = 1 (параметр Хаббла удвоился) скорость становится сверхсветовой:

$$v_H = \frac{14m}{(1+m)^2} = \frac{14}{(1+1)^2} = \frac{14}{4} = 3{,}5$$

В любом случае сокращающаяся сфера Хаббла догоняет фотоны, находящиеся внутри неё, но при этом постепенно замедляется. После того, как скорость уменьшения радиуса сферы станет досветовой, примерно через 2,75 млрд. лет, фотоны от неё смогут убежать и достичь Земли. При этом возникает довольно специфическое поведение радиуса видимости Вселенной, горизонта видимости. Он так же постоянно уменьшается. Начиная с этого момента, 2,75 млрд. лет в нашем примере, радиус наблюдаемой Вселенной всегда *больше* радиуса сферы Хаббла на момент излучения. Действительно, первый "убежавший" фотон будет идти до Земли дольше, чем 2,75 млрд. лет, поскольку всё это время Земля удаляется от него. В момент регистрации фотона по его яркости будет установлена эта новая удалённость от точки излучения. То есть, радиус сферы Хаббла в этот момент уже явно *меньше*, чем эта новая удалённость. Пока фотон отмерял большее расстояние, сфера Хаббла, наоборот, уменьшалась. Таким образом, следует признать ошибочным заявление о переходе фотонов из сверхсветовой области вне сферы Хаббла в субсветовую область внутри неё в условиях ускоренно расширяющейся Вселенной. Более естественным и логичным является противоположный процесс. Нет никакой более быстро удаляющейся сферы Хаббла [4, с.8].

Точно такие же рассуждения можно привести и для *уменьшающегося* со временем параметра Хаббла, ведущего к росту радиуса сферы Хаббла. В этом случае фотон, изначально недоступный для наблюдения, будет удаляться

от наблюдателя до тех пор, пока сфера его не догонит. В этом случае понятие сферы Хаббла становится тожественным понятию радиуса *наблюдаемой* Вселенной. Какой бы малой ни была сфера Хаббла изначально и сколь бы медленно она не расширялась, внутренние фотоны достигнут её центра *позднее*, чем из под сферы появятся новые. Буквально, для наблюдателя это означает бесконечно большой радиус наблюдаемой Вселенной. Однако вернёмся к нашим условиям: постоянную Хаббла мы считаем именно таковой, величиной постоянной.

Заметим, что первое заблуждение, описанное в "Expanding Confusion..." в настоящее время таковым не является: сверхсветовое разбегание галактик специальной теории относительности не противоречит. Но вот разъяснение второго заблуждения об инфляционном расширении Вселенной вызывает недоумение. Инфляционная теория Гута и Линде получила всеобщее признание и является одним из базовых положений теории Большого Взрыва. Тем не менее, в статье утверждается, что во время инфляции объекты внутри сферы Хаббла удаляются со скоростью, *меньшей* скорости света [4, с.6]. Это утверждение ошибочно. Можно привести множество ссылок, противоречащих ему. Более того, в случае инфляции само понятие сферы Хаббла лишено смысла. Можно встретить, например, такие утверждения: сразу после Большого Взрыва за очень короткий период времени Вселенная от размеров, сравнимых с размерами протона, увеличилась до размеров спичечного коробка [12]; до размера около 1 см в диаметре [14], [21]; до размеров грейпфрута [20]; до размеров мячика для игры в пинг-понг [44]. Интересно, что сказали бы по поводу этого заявления авторы гипотезы об инфляционном расширении Вселенной. Невозможно представить, чтобы,

например, Линде, отказался от своей гипотезы, принятой научным сообществом:

"... начальный размер инфляционной вселенной был очень мал (порядка планковской длины lp ~ 10^{-33} см), после 10^{-35} секунды инфляции вселенная достигает огромных размеров ~ $10^{1`000`000`000`000}$ см" [25].

Скорость движения "поверхности" шара Вселенной в процессе инфляции явно превышает скорость света, причём многократно. Заметим, что выкладки статьи "Expanding Confusion..." рассматривались и цитировались разными авторами. Например, такое исследование и цитирование осуществлено в работе профессора Попова. Отметим, что его анализ выглядит несколько поверхностно, а его статью можно назвать просто переводом оригинала. Те важные нестыковки в статье "Expanding Confusion...", которые обнаружили мы, в ней не рассмотрены. Подтверждена ошибочная мысль, что сфера Хаббла не является горизонтом, а потому сверхсветовые объекты за её пределами *можно* наблюдать. [32].

Ещё один краткий анализ статьи "Expanding Confusion..." приведён на сайте modcos [31]. Здесь также подтверждены все выкладки статьи. В частности, приведён, вернее, повторен тот же ошибочный аргумент, что знаменатель в уравнении для параметра Хаббла в ускоренно расширяющейся Вселенной увеличивается быстрее числителя, поэтому и сам параметра Хаббла уменьшается, что приводит к увеличению его обратной величины – радиуса сферы Хаббла. Фотоны за её пределами якобы получают возможность достичь наблюдателя в центре сферы.

В рассмотренной выше заметке Чернышенко приведена довольно любопытная трактовка горизонтов, высказанная Риндлером, который сказал, что существует некая очень понятная интерпретация обоих горизонтов нашего

мира [43]. Признаемся, нам это заявление о простоте показалась преувеличением:

"Горизонт событий образован световым фронтом, который в пределе сойдется на нашей Галактике, когда возраст Вселенной возрастет до бесконечности" [43].

По сути, это простой набор слов, мало что поясняющий. В этой замысловатой формулировке практически не просматривается даже элементарная очевидность: все окружающие объекты при некоторых условиях будут не видны из нашей Галактики. Сам Чернышенко уточнил в своей статье это мнение Риндлера, возложив ответственность за создание горизонта событий на *ускоренное* расширение Вселенной:

"... сегодня можно обсудить то, как ускоренное расширение (если оно будет продолжаться вечно) изменит нашу Вселенную и создаст горизонт событий" [43].

Однако и это уточнение, в лучшем случае, неполное: а что, сейчас такого горизонта нет? Всё зависит от того, что понимать под *ускоренным* расширением. Является ли расширение с неизменным параметром Хаббла, с *постоянной* Хаббла ускоренным? Если нет, то горизонт событий "возникает" и при неускоренном расширении Вселенной. В кавычки мы взяли слово, поскольку горизонт не возникает: он существует с самого рождения Вселенной. Мы чётко разделяем ускоренное, равномерное и замедленное расширение Вселенной по величине параметра Хаббла. Если он не меняется со временем и не равен нулю, то Вселенная расширяется равномерно. При ускоренном расширении параметр Хаббла со временем увеличивается, а при замедленном – уменьшается. Для появления горизонта событий в цитированном виде вечность не нужна. Этот горизонт уже существует и равен сфере Хаббла. Продолжение приведённого высказывания Риндлера относится к ещё од-

ному горизонту, горизонту видимости Вселенной, о котором сказано, что горизонт частиц соответствует световому фронту, испущенному в момент Большого взрыва [43].

И вновь и в этой фразе мы не находим ни простоты, ни особого смысла. Всё вновь сводится к *определению* параметра, горизонта. Заметим, что в заметке Чернышенко этот смысл виден более отчётливо. Смысл сводится к тому, что горизонт частиц или, иначе, радиус *наблюдаемой* Вселенной – это тот же самый горизонт *видимости* Вселенной. Момент Большого взрыва здесь играет лишь косвенную роль, поскольку речь не идёт о времени, *когда* мы увидим или перестанем видеть какую-либо галактику. Речь должна идти о *расстояниях* до этих галактик во вполне конкретный *срок* их наблюдения – 14 млрд. лет после Большого взрыва, то есть, в наши дни. Буквально: видим мы или нет такую-то галактику, удалённую от нас на такое-то расстояние? Точнее, на расстояние радиуса *наблюдаемой* Вселенной. Или еще иначе: на каком расстоянии находится эта галактика, которую мы сегодня *наблюдаем*, и позади которой больше ничего нет. В этой связи сразу же возникает вопрос: может ли радиус наблюдаемой Вселенной ныне быть больше, чем, например, 30 млрд. световых лет? Согласно мнению Чернышенко [43], горизонт частиц отделяет наблюдаемые в настоящий момент объекты от ненаблюдаемых.

С наблюдаемыми объектами всё более или менее ясно: мы их видим. Но что значит "ненаблюдаемые"? Очевидно, причины могут быть разными. Телескоп неисправен. Астрономы в отпуске. Это, конечно, шутка. А всерьёз это может быть связано с тем, что спектр сигнала не соответствует используемым приборам. Красное смещение настолько велико, что сигнал уже не оптический, а имеет чрезвычайно большую длину волны. Вряд ли эти причины

следует считать создателями горизонта частиц. В пользу такого мнения говорит и мнение Чернышенко о том, что для нерасширяющейся Вселенной размер горизонта частиц растет с возрастом [43]. Но другое его утверждение выглядит весьма спорно. Он считает, что рано или поздно все области Вселенной окажутся доступными для изучения [43]. Это неверно, такого не случится никогда даже при замедленном расширении Вселенной, просто потому что Вселенная имеет бесконечные размеры. Даже тахионный телескоп будет бесполезен, поскольку угловое разрешение будет нулевым. От галактики, находящейся на бесконечном удалении от нас, мы сможем получить только один-единственный тахион. О чём он может нам поведать? Также ошибочным является утверждение по поводу размеров горизонта *частиц*, горизонта *видимости* Вселенной, радиуса *наблюдаемой* Вселенной в условиях ускоренно расширяющейся Вселенной. Утверждается, что размер *горизонта частиц* может стремиться к постоянной величине [43]. Мы утверждаем, что ускоренное расширение Вселенной – это, по меньшей мере, *постоянное* увеличение параметра Хаббла. Следовательно, ускоренно удаляющиеся от нас области пространства будут достигать ненаблюдаемой величины, скорости света на поверхности сферы Хаббла, которая непрерывно уменьшается, причём, *вплоть до нуля*. Это ведь обратная величина параметра Хаббла. Но это не главное. Через какое-то время внутри сферы Хаббла попросту не останется ничего, что можно наблюдать, кроме гравитационно связанной области. Чему равен горизонт частиц, которых нет? Завершается высказывание Риндлера фигуральным выражением, из которого делается, как сказано, понятный вывод, с которым мы согласимся

"... горизонт частиц задает максимальное расстояние, с которого в нашу нынешнюю эпоху можно наблю-

дать произошедшее в прошлом. Горизонт событий, напротив, фиксирует максимальную дистанцию, откуда можно получить информацию о бесконечно отдаленном будущем" [43].

Этот вывод полностью согласуется с нашими выводами, но в нём присутствует всё та же традиционная двусмысленность. Здесь нам следует внести уточнение понятию *горизонта видимости* Вселенной и его соотношению с *радиусом наблюдаемой* Вселенной.

Горизонт видимости

Горизонтом видимости Вселенной (в литературе – горизонт событий) следует считать *исходное*, в начальный момент расширения расстояние до *самой дальней* галактики, которую мы *можем наблюдать в принципе*, пусть даже и через бесконечно большое время. Связь между *радиусом наблюдаемой* Вселенной и *горизонтом видимости* Вселенной заключена в том, что *горизонт* видимости Вселенной является предельным значением *радиуса наблюдаемой* Вселенной в смысле начальной удалённости. Это хорошо видно на графике зависимости радиуса R_0 самой дальней наблюдаемой галактики с $R_0 = 9$ от времени, через которое свет от неё достигнет наблюдателя на Земле, как показано на рисунке рис.5.7.

Отмеченное максимальное расстояние пройдут фотоны до наших дней от галактики, которая после начала расширения Вселенной находилась от Земли на удалении $R_0 = 9$ млрд. св. лет. Но в наши дни находиться эта галактика будет на расстоянии порядка 25 млрд. св. лет. Неясно, какое из этих двух расстояний подразумевается в словах Риндлера. Мы утверждаем, что галактику на удалении в 25 млрд. св. лет ни сейчас, ни когда-либо в будущем мы

наблюдать не сможем. Образно выражаясь, мы не сможем *увидеть*, какой футбольный матч проходит на некоторой экзопланете в этой галактике. Но события, произошедшие на ней 14 млрд. лет назад, мы *увидим* непременно. Точно такая же двусмысленность присутствует и в "понятном" определении горизонта видимости. Мы не видим сейчас событий, происходящих в галактике, находившейся от Земли на расстоянии, *большем*, чем 9 млрд. св. лет, но вполне можем их увидеть в некотором будущем.

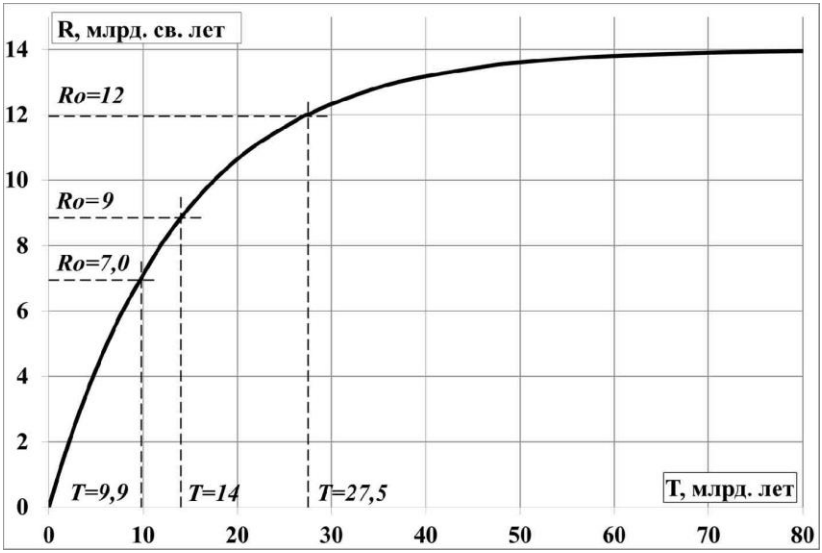

Рис.5.7. Горизонт видимости Вселенной

Подчеркнём, что это будущее может быть *бесконечно* далёким, а эта *начальная* удалённость всегда меньше радиуса сферы Хаббла. Как видно на рисунке, при увеличении начальной удалённости сверхновой R_0 увеличивается и время её первичного, начального наблюдения. Сверхновая с $R_0 = 7$ *видна* в наши дни, начиная с 9,9 млрд. лет от Большого Взрыва. Сверхновая с $R_0 = 9$ видна в наши дни. Сверхновая с $R_0 = 12$ будет видна лишь через 27,5 млрд. лет от начала расширения Вселенной. Сверхновые, при-

ближающиеся по удалённости изнутри к сфере Хаббла $R_H = 14$, будут видны более чем через 80 млрд. лет.

Подчеркнём, речь идёт именно о такой сверхновой, которая может быть *наблюдаема* в принципе, свет от которой *обязательно* достигнет наблюдателя на Земле. На рисунке видно, что график асимптотически стремится к величине 14 млрд. световых лет, равной радиусу *горизонта* видимости Вселенной, величине, обратной параметру Хаббла H_0, использованному в наших построениях. По мере увеличения начальной удалённости R_0 мишени (Земли) от сверхновой, возрастает время, за которое свет *сможет* догнать мишень. Например, согласно графику, за время 14 млрд. лет Землю догнал свет от самой дальней сверхновой, находящейся в момент взрыва не дальше 9 млрд. световых лет. При любом, неограниченном росте времени *достижимая, наблюдаемая* начальная удалённость R_0 имеет предел, равный радиусу сферы Хаббла, который ныне равен приблизительно 13,8 млрд. св. лет. Для этого возраста Вселенной предельная начальная удалённость равна $R_0 \sim 9$ млрд. св. лет, именно это расстояние мы и называем сегодняшним радиусом *наблюдаемой* Вселенной, *радиусом* её видимости в наши дни.

Напротив, мы *никогда*, в любом самом отдалённом будущем не сможем увидеть событий, происходящих в галактике, находившейся в момент начала расширения Вселенной от Земли на расстоянии, *большем и даже равном* радиусу сферы Хаббла. Именно эту удалённость мы и называем *горизонтом* видимости Вселенной.

Величину начальной удалённости, равную примерно 9 млрд. св. лет, и следует считать сегодняшним радиусом наблюдаемой Вселенной. Величину фотонного радиуса сферы Хаббла, равную сегодня примерно

13.8 млрд. св. лет, следует считать электромагнитным горизонтом видимости Вселенной.

Понятия фотонного радиуса и электромагнитного горизонта мы пояснили выше. Радиусы горизонта и видимой Вселенной можно объяснить и довольно простыми рассуждениями, так сказать, "на пальцах". Поместим в центр сферы Хаббла источник – сверхновую, а на некотором удалении от неё – наблюдателя, Землю. В этом случае фотоны догоняют удаляющуюся Землю, вместо традиционных рассуждений, когда, наоборот, их уносит от Земли расширяющееся пространство. Очевидно, что начальная скорость фотонов в точности равна скорости света, поскольку на начальном участке их движения пространство практически не расширяется, в частности, вследствие гравитационной связанности. Однако через некоторое время скорость убегания Земли превысит скорость света. Это расстояние от источника, галактики равно радиусу сферы Хаббла. Понятно, что никакой новый фотон от галактики не сможет догнать Землю, поскольку она убегает от него с большей скоростью. Это и есть горизонт видимости, то есть, удалённости, за пределами которой Земля уже недоступна. Но на более близкой удалённости Земли фотоны смогут её догнать. А это уже удалённость, радиус наблюдаемой Вселенной, галактики.

П6. Сверхсветовой квантовый семафор

Можно назвать общепризнанным мнением, что окончательным и бесповоротным опровержением специальной теории относительности может быть только возможность передачи классической информации со скоростью, превышающей скорость света. Также считается, что

до настоящего времени ни теоретических, ни практических достижений в этом направлении нет. Однако одно такое теоретическое решение есть, хотя оно нигде не обсуждалось и экспериментально не проверялось. На основе этих исследований спроектировано устройство, названное квантовым семафором. Название возникло потому, что процесс передачи информации с его помощью напоминает морской семафор, использующий флажки. Решение описано в нашей книге "Границы теории относительности" [47, с.69]. Повторим: это теоретическое решение, которое экспериментально не проверялось. Однако в нём строго соблюдены все правила, формализм квантовой информатики и не видно причин, чтобы это решение оказалось ошибочным. Спроектированный семафор теоретически позволяет передавать классическую информацию со сверхсветовой скоростью на любое расстояние, то есть, опровергает главный постулат теории относительности о предельности скорости света. В основе его лежит квантовая нелокальность или запутанные частицы.

Естественно, возникает серьезный, очевидный вопрос: каким же образом неуловимая, неощутимая квантовая информация вдруг позволила все-таки передать информацию классическую, вещественную? Вероятно, что в данном случае, по всей видимости, удалось обойти запрет на клонирование фотона. Хотя о единственном случае клонирования было известно и ранее: это клонирование фотона в базисном состоянии. Эта одна-единственная, буквально крошечная возможность создания клонированного фотона, допустила возможность передачи классической информации, формально даже и не нарушая теорему о запрете клонирования кубита. Осуществить такое запретное клонирование позволил квантовый гейт CNOT.

Опишем такую возможность передачи информации в виде небольшой истории с традиционными участниками Алисой и Бобом, которые решили осуществить передачу сигналов посредством квантового нелокального семафора. Почему семафор, а не традиционные телепортация или телеграф? Дело в том, что при передаче классической информации используются два ортогональных сигнала – вертикальный и наклонный кресты поляризованных фотонов. Крестами названы потоки квантов, фотонов, имеющих наклонную или вертикальную поляризацию. Такая передача сигналов довольно сильно напоминает морской семафор, когда матрос размахивает флажками, образуя разные фигуры. Очевидно, что разница наклонов в 45 градусов соответствует максимальной различимости положения таких крестовых фотонных потоков. Конечно, в этом случае следует использовать не морскую семафорную азбуку, а азбуку Морзе, поскольку у таких "квантовых" флажков только два положения. Итак, для такого эксперимента Алиса и Боб собрали модель квантового нелокального семафора примерно такого вида, как показано на рис.6.8. На одинаковом расстоянии от себя они установили источник запутанных фотонов S, который испускает непрерывную последовательность фотонных пар ν_1 и ν_2. Свои полученные фотоны Алиса пропускает через вращаемый поляризатор. Чтобы передать Бобу сообщение с помощью азбуки Морзе, Алиса поворачивает свой поляризатор в одно из двух положений. Вертикальное положение поляризатора означает точку (ноль), наклонное под 45 градусов – тире (единицу). Вследствие запутанности, действия Алисы приводят к тому, что на стороне Боба его фотонные потоки приобретают такую же поляризацию: вертикальную или наклонную. На своей стороне Боб принимает эти вторые из пар запутанные фотоны и пропускает их через квантовый

гейт CNOT, подавая на его управляющий вход полученные запутанные фотоны, а на управляемый вход – фотоны с горизонтальной поляризацией.

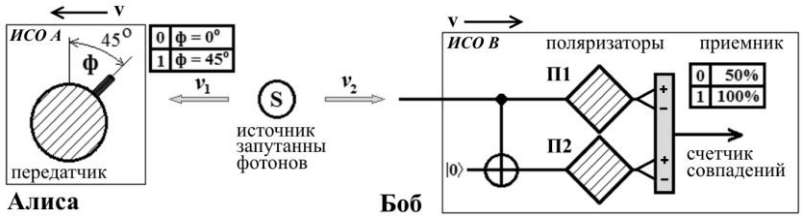

Рис.6.8. Квантовый нелокальный семафор

С выхода гейта управляющий и управляемый фотоны Боб пропускает через наклоненные под 45 градусов расщепляющие поляризаторы и с помощью устройства совпадения измеряет парные регистрации, когда оба фотона одновременно прошли либо на одноименные их выходы (плюсовые или минусовые), либо на разноименные. Конечно, использование расщепляющих поляризаторов не обязательно, поскольку всякое прохождение на один выход тождественно отсутствию такого прохождения на другой. Устройство совпадения выдаёт информацию о процентном соотношении парных регистраций. Если все фотоны парно прошли через одноименные выходы поляризаторов (100%-ное совпадение), то Боб записывает тире (единицу). Если одноименных регистраций только 50%, то Боб записывает точку (ноль). Поскольку совпадения формируются при коллапсе волновых функций запутанных фотонов v_1 и v_2, то такая передача текста азбукой Морзе будет происходить со сверхсветовой скоростью.

Однако в заключение следует сделать, видимо, неожиданный вывод. Остаются сомнения в окончательном и убедительном доказательстве того, что квантовая нелокальность может быть использована для сверхсветовой передачи информации. Слишком уж много вопросов возни-

кает в физике при такой возможности. Но, если приведённые выкладки ошибочны, то в чём ошибка? Возможно, она заключена в трактовке запутанности. Если посмотреть литературу по CNOT, то можно встретить утверждения, что на выходе гейта фотоны запутаны *всегда* и во всех режимах. В этом случае селекция фотонов на выходах предложенной схемы не позволит различить их исходное состояние и передачи информации не будет.

Другими словами, два выведенных нами базовых уравнения, описывающие на выходе гейта состояния, не являющиеся запутанными, видимо, представляют всё-таки запутанные состояния фотонов, хотя это довольно странные состояния запутанности. Действительно, в этом случае оба фотона находятся в собственных состояниях и имеют точно определённые поляризации, а их совместное состояние является тензорным произведением, означающим отсутствие запутанности, вопреки многочисленным заявлениям от имени квантовой механики! Однако это довольно странные состояния запутанности. Такая запутанность, если она, действительно, имеет место, весьма красочна. Фотон, имеющий достоверно известную поляризацию, без какого бы то ни было влияния извне поворачивает её буквально на глазах экспериментатора. Но в этом случае сразу же становится очевидным, что такая запутанность с ещё большей простотой позволяет произвести сверхсветовую передачу информации. Поворачивая поляризатор у одного фотона, мы получаем на выходе такое же вращение.

Следует признать, что существуют также и некоторые практические проблемы реализации такой связи. Видимо, такую сигнализацию довольно сложно осуществить в дальней космической связи, в области, наиболее заинтересованной в такой связи, поскольку требуется создать некое фотонное подобие обычной телеграфной линии связи

(провода, оптоволокно). Но для простой кодированной передачи информации использовать её достаточно просто. Источник запутанных фотонов передает их отправителю и получателю, например, по обычной волоконно-оптической линии, либо через спутники. Передача информации производится либо непосредственно путем описанной семафорной сигнализации, либо передачей открытого ключа. Любое постороннее вмешательство в сеанс связи сразу же обнаруживается по нарушению контрольных сумм и может быть незамедлительно пресечено.

Очевидно, что ИСО Алисы и Боба могут двигаться относительно друг друга с любой скоростью. В этом случае мы обнаруживаем серьёзные проблемы в специальной теории относительности. Сверхсветовая сигнализация полностью разрушает базовые принципы теории: теряет смысл инвариант скорости света, все преобразования Лоренца отвергаются, а парадоксы причинности приобретают двойственность. В сверхсветовой теории относительности предсказывается обратное движение во времени, а в реальные измерениях ничего такого нет.

Ссылки

1. Belinski V.A., 1995 On the existence of quantum evaporation of a black hole. Phys. Lett. A 209 (1995) 13-20
2. Belinski V.A., 2006 On the existence of black hole evaporation yet again. Phys. Lett. A 354 (2006) 249-257; arXiv:gr-qc/0607137
3. Belinski V.A., 2012 On tunnelling through the black hole horizon. arXiv:gr-qc/0910.3934. 2012
4. Davis T.M, Lineweaver H.C. Expanding Confusion: common misconceptions of cosmological horizons and the superluminal expansion of the universe, URL: https://arxiv.org/abs/astro-ph/0310808v2
5. Hawking S.W. Particle creation by black holes. Commun. math. Phys. 43. 199 - 220 (1975).
6. Hayward S.A., Di Criscienzo R., Nadalini M., Vanzo L., Zerbini S. Comment on "On the tunneling through the black hole horizon". arXiv:0911.4417v1 [gr-qc]. 2009
7. Maccarrone G.D., Recami E. Two-Body Interactions through Tachyon Exchange. *Nuovo Cimento A*, 57, 85 (1980, URL http://dinamico2.unibg.it/recami/erasmo docs/SomeRecentSCIENTIFICpapers/ExtendedRelativity/TwoBodyTachyonExchangeNCA80.pdf
8. Pizzi M. Second comment to "Invariance of the tunneling method", arXiv:0909.3800v1 [gr-qc] 21 Sep 2009
9. Rabinowitz M., Black Hole Paradoxes. Armor Research 715 Lakemead Way Redwood City, CA 94062-3922, Mario715@earthlink.net
10. Vanzo L., Acquaviva G., Di Criscienzo R. Tunnelling Methods and Hawking's radiation: achievements and pro-

spects. Topical Review. arXiv:1106.4153v1 [gr-qc] 21 Jun 2011
11. Барашенков В.С. "Тахионы. Частицы, движущиеся со скоростями больше скорости света", *УФН*, **114** (1) 133 (1974)
12. Большой взрыв: Инфляционная модель, Студопедия, 2014, URL: http://studopedia.ru/3_49059_bolshoy-vzriv-inflyatsionnaya-model.html
13. Голованов В., Как получилось, что размер Вселенной больше её возраста?, Автор оригинала: Ethan Siegel, URL: https://habr.com/ru/post/397063/
14. Гусев А. Как возникла Вселенная?, 2008, URL: http://shkolazhizni.ru/archive/0/n-14628/
15. Джастмэн Логические парадоксы. Пути решения, 2016 https://proza.ru/2009/01/22/165?ysclid=la4z5rcvj0758811824
16. Дирак П.А.М. Лекции по теоретической физике. – Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001, 240 с.
17. Заболоцкий М. Размер Вселенной, URL: https://spacegid.com/razmer-vselennoy.html
18. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Релятивистская астрофизика, ч.1. *УФН*, т.LXXXIV, вып.3, 1964, с.377-417
19. Зигуненко С.Н. XX век: хроника необъяснимого. Тайны космоса: сенсации наших дней.– М.: Олимп; ООО "Фирма "Издательство АСТ", 1998.– 480 с.
20. Инфляционная стадия расширения Вселенной. Элементы, URL: http://elementy.ru/trefil/21082?context=20444
21. Кокин А.В. Стандартная модель вселенной. Модель Большого взрыва, 2011, URL: http://www.avkokin.ru/documents/584

22. Котов Г. Вселенная бесконечна. Стенограмма презентации "Размеры Вселенной", 2015. URL: https://prezi.com/6vdgitlneu1z/presentation/
23. Кулигин В.А. Неисправленная ошибка Пуанкаре и анализ СТО, URL: https://n-t.ru/tp/to/sa.htm https://n-t.ru/tp/to/sa.pdf
24. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учеб. пособ.: Для вузов. В 10 т. Т. II. Теория поля. – 8-е изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 536 с.
25. Линде А.Д. Инфляция, квантовая космология и антропный принцип, 2002, URL: http://www.astronet.ru/db/msg/1181084
26. Мардер Л. "Парадокс часов", Пер. с англ. А.А.Бейлинсона, с предисловием Н.В.Мицкевича, Изд. "МИР", Москва, 1974.
27. Метагалактика, Википедия, URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Метагалактика
28. Мир Космоса. Размер Вселенной, URL: https://spaceworlds.ru/vselennaya/razmer-vselennoy-na-skolko-ona-velika.html
29. Окунь Л Б, Селиванов К Г, Телегди В. "Гравитация, фотоны, часы" *УФН* **169** 1141–1147 (1999)
30. Парадокс Эренфеста, Википедия, URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Парадокс_Эренфеста
31. Парадоксы Большого взрыва, сайт Modern Cosmology, 2011, URL: http://www.modcos.com/articles.php?id=99&ysclid=ldlotnt7ew508016216
32. Попов С. Сверхсветовое разбегание галактик, 2003, URL: http://www.astronet.ru/db/msg/1194830

33. Размер Вселенной. Часть 4. Истинные границы, URL: https://pikabu.ru/story/razmer_vselennoy_chast_4_istinnyie_granitsyi_5835382
34. Реквием по теории? "Спутник ЮТ", научно-популярный дайджест, #1/2002, URL: http://jtdigest.narod.ru/dig1_02/einstain.htm
35. Розман Г.А. Теория относительности. – Псков: ПГПУ, 2005. – 256 с. ISBN 5-87854-343-5.
36. Сасскинд Л. Битва при черной дыре. Мое сражение со Стивеном Хокингом за мир, безопасный для квантовой механики. – СПб.: Питер, 2013. – 448 с.
37. Скобельцын Д.В. Парадокс близнецов в теории относительности, АН СССР, М. – "Наука", 1966
38. Соколовский Ю.И. Теория относительности в элементарном изложении. – М.: Наука, 1964
39. Сурдин В. О Боге, Большом взрыве, астрономии в школе и многом другом. #Лаборатория LIVE, 28.05.2019, URL: https://www.youtube.com/watch?v=sVlx5cGFKHY
40. Фейнман Р.Ф., Мориниго Ф.Б., Вагнер У.Г. Фейнмановские лекции по гравитации. Перев. с англ. А.Ф.Захарова. – М.: "Янус-К", 2000. – 296 с.
41. Физика света. Фильм 2. Свет и пространство. Общая теория относительности, Korean Educational Broadcasting System, 2014, www.ebs.co.kr , URL: https://youtu.be/MGahs3kMTYE
42. Чернышенко А. Размеры Вселенной, 2018. URL: https://myvera.ru/universe/1-8a
43. Чернышенко А. Сфера Хаббла и горизонты Вселенной, https://myvera.ru/universe/1-6a?ysclid=ldd1dv75xc540704505
44. Эймос Дж. Обнаружена гравитационная волна Большого взрыва, 2014, URL:

http://www.bbc.co.uk/russian/science/2014/03/140317_us_big_bang_discovery
45. Энциклопедия для детей. Том 16. Физика. ч.2. Электричество и магнетизм. Термодинамика и квантовая механика. Физика ядра и элементарных частиц / Глав.ред. В.А.Володин. – М.: Аванта+, 2000
46. Эренфест П. Относительность. Кванты. Статистика: Сборник статей. – М.: Наука, 1972, с.38

Ссылки на работы автора

47. Путенихин П.В. Границы теории относительности. – Саратов: "АМИРИТ", 2018. – 116 с., илл.
48. Путенихин П.В. Итак, парадокса (близнецов) больше нет! Самиздат, 2014, URL: http://samlib.ru/editors/p/putenihin_p_w/ddm4-oto.shtml
49. Путенихин П.В. Логика противоречий. – Саратов: "АМИРИТ", 2017. – 133 с., илл., URL http://samlib.ru/p/putenihin_p_w/logik_82.shtml.
50. Путенихин П.В. Мнимые и реальные парадоксы теории относительности. – Барнаул: ИП Колмогоров А.И., 2017. – 320 с., илл.
51. Путенихин П.В. Парадокс близнецов в специальной, общей и тахионной теориях относительности. – Саратов: "АМИРИТ", 2019. – 230 с., илл., URL: http://samlib.ru/editors/p/putenihin_p_w/twin250.shtml
52. Путенихин П.В. Парадоксы параллельности, 2022, URL: http://samlib.ru/p/putenihin_p_w/paraldox.shtml
53. Путенихин П.В. Парадоксы СТО: парадокс симметрии (синхронизации), Научно-техническая библиотека SciTecLibrary, 2004, URL: http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7687.html
54. Путенихин П.В. Преобразования Лоренца как иллюзия, сборник статей XLI международной науч. конфер.

"ТЕХНОКОНГРЕСС", ИД "Плутон", 08.04.2019, URL: https://t-nauka.ru/wp-content/uploads/v72.pdf с.36-43 https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=42484764 v72
55. Путенихин П.В. Причина СТО, Самиздат, 2011, URL: http://samlib.ru/p/putenihin_p_w/prichina.shtml
56. Путенихин П.В. Просто про СТО, 2023, URL: http://samlib.ru/p/putenihin_p_w/prosto.shtml http://lit.lib.ru/p/putenihin_p_w/prosto.shtml
57. Путенихин П.В. Решение парадокса Эренфеста, журнал "Точная наука", ИД Плутон, вып.36 от 14 января 2019, URL: http://t-nauka.ru/wp-content/uploads/v36.pdf с.8-22 https://elibrary.ru/contents.asp?id=36825393 v36 с.8-22 http://samlib.ru/p/putenihin_p_w/erenfest-dop.shtml
58. Путенихин П.В. Тахионный кризис теории относительности. – Саратов: "АМИРИТ", 2017. – 470 с., цв. илл. ISBN 978-5-9500981-4-7
59. Путенихин П.В. Три чуда СТО: парадокс спешащих часов, 2008, URL: http://samlib.ru/editors/p/putenihin_p_w/chudo.shtml http://econf.rae.ru/article/9855
60. Путенихин П.В. Численное интегрирование // П.В.Путенихин. – Саратов: ООО "АМИРИТ", 2022. – 144 с., цв. илл., ISBN 978-5-00207-049-7
61. Радиус наблюдаемой Вселенной и горизонт Вселенной, Самиздат, 2020, URL: http://samlib.ru/p/putenihin_p_w/accele02.shtml
62. Силы притяжения внутри обруча, сферы, между двух точек, Самиздат, 2021, URL: http://samlib.ru/editors/p/putenihin_p_w/dc16.shtml http://samlib.ru/p/putenihin_p_w/dc15.shtml

Оглавление

Предисловие ***1***
1. Решение классического парадокса близнецов ***9***
2. Альтернативное решение парадокса – два поезда ***16***
3. Парадоксальное решение парадокса близнецов ***20***
4. Загадочная математика ***29***
5. Парадокс близнецов в ОТО ***46***
6. Парадокс Эренфеста ***68***
7. Истоки возникновения эффектов СТО ***102***
8. Противоречивые мнения в науке ***106***
Медленное перемещение – часы отстанут *106*
Проблема притяжения тела внутри сферы *107*
Радиус наблюдаемой Вселенной *108*
Неравенства Белла и квантовая нелокальность *114*
Противоречия принципа реинтерпретации *122*
Бесконечные ряды и Вселенная *129*
Задача Гамова о поиске пиратского клада *135*
Проблема пятого постулата Евклида *140*
Противоречия параллельного переноса *143*
Сингулярность Черной дыры *147*
Черные дыры не испаряются? *155*
Информационный парадокс *162*
Заключение ***168***
Приложения ***174***
Ссылки ***303***

14.03.2023

Путенихин Петр Васильевич

Просто про СТО

Вёрстка — автор
Корректор — автор

П.В. Путенихин
putenikhin.peter@gmail.com

ISBN 978-5-00207-215-6

Подписано в печать 16.04.2023.
Формат 60×84 1/16. Гарнитура Times New Roman. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 18,02. Тираж 25 экз. Заказ № 1148-23.

Отпечатано в соответствии с предоставленными материалами
в ООО «Амирит», 410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 88.
Тел.: 8-800-700-86-33 | (845-2) 24-86-33
E-mail: zakaz@amirit.ru
Сайт: amirit.ru

Путенихин Петр Васильевич
Просто
про СТО
П.В. Путенихин Просто про СТО