М. А. Левин

ОТ ЭФИРА К МИРУ МИНКОВСКОГО

К НОВОЙ МЕТОДОЛОГИИ СТО

*Платон мне друг,
но истина дороже*
Аристотель

URSS

Relata Refero

М. А. Левин

ОТ ЭФИРА К МИРУ МИНКОВСКОГО

К новой методологии СТО

URSS
МОСКВА

ББК 22.313

Левин Марк Абрамович

От эфира к миру Минковского: К новой методологии СТО.
М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. — 176 с. (Relata Refero.)

Автор предлагает эфирный подход (ЭфСТО) к изложению специальной теории относительности (СТО) на базе трех постулатов, который позволяет снять с нее покров парадоксальности. Этот подход и официальные подходы сопоставляются. В результате автор делает вывод о методологической целесообразности строить СТО в виде подхода на базе мира Минковского и предпосылки на базе эфирного подхода. При этом подход на базе постулатов Эйнштейна будет играть вторичную роль.

Книга в основной своей части доступна школьникам старших классов. Она может оказаться полезной преподавателям, студентам и научно-техническим работникам.

Издательство «Книжный дом "ЛИБРОКОМ"».
117312, Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, 9.
Формат 60×90/16. Печ. л. 11. Зак. № 2250.

Отпечатано в ООО «ЛЕНАНД».
117312, Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, 11А, стр. 11.

ISBN 978-5-397-00503-6

6873 ID 91674
9 785397 005036

СОДЕРЖАНИЕ

От издательства

Эта книга продолжает серию «Relata Refero» (дословный перевод — рассказываю рассказанное).

Под этим грифом издательство предоставляет трибуну авторам, чтобы высказать публично новые идеи в науке, обосновать новую точку зрения, донести до общества новую интерпретацию известных экспериментальных данных, etc.

В споре разных точек зрения только решение Великого судьи — Времени — может стать решающим и окончательным. Сам же процесс поиска Истины хорошо характеризуется известным высказыванием Аристотеля, вынесенным на обложку настоящей серии: авторитет учителя не должен довлеть над учеником и препятствовать поиску новых путей.

Мы надеемся, что публикуемые в этой серии тексты внесут, несмотря на свое отклонение от установившихся канонов, свой вклад в познание Истины.

Введение

Специальная теория относительности не является трудом одного человека, она возникла в результате совместных усилий группы великих исследователей - Лоренца, Пуанкаре, Эйнштейна, Минковского.

Макс Борн

Не думайте, что Я пришел нарушить Закон или пророков.

Ев. от Матфея, 17

Специальная теория относительности (СТО) касается таких важных вопросов, как пространство и время. Успехи СТО несомненны. Она стала толчком и инструментом для развития новых физических теорий 20-го века. Однако прошло сто лет, а дискуссии в отношении нее не утихают. Это связано с трудностями понимания СТО, которые лежат не ее в математической сложности, а в методологии. «Неслыханная парадоксальность является ее наиболее характерным свойством» (О.Д. Хвольсон).

Автор предлагает эфирный подход к построению СТО, что позволяет снять с нее покров парадоксальности. Этот подход и официальные подходы сопоставляются. В результате автор делает вывод о том, что СТО методологически должно строиться в виде современного подхода на базе мира Минковского и предпосылки к нему на базе эфирного подхода. При этом подход на базе постулатов Эйнштейна будет играть вторичную роль.

Чтобы здесь во введении более конкретно пояснить цель данной работы, придется кратко рассмотреть основные этапы становления СТО и подходы к ней. Для этого будем различать:

- эфиро-электродинамический подход Г. Лоренца (1904 г.);
- ЭйнСТО - аксиоматический подход А. Эйнштейна (1905г);
- МинСТО – постулирование мира Минковского (1909г.);
- ЭфСТО - предлагаемый автором эфирный подход.

«Математические ухищрения» Лоренца. Трудами Д. Максвелла (60-е гг. 19в.) и Г. Лоренца (конец 19в.) получены уравнения электродинамики, которые называют уравнениями Максвелла-Лоренца (далее УрМЛ). Они содержат константу скорости распространения электромагнитных волн, а также скорости заряженных частиц. Возникает вопрос, относительно чего измеряются эти скорости. Согласно представлениям физики начала 20-го века считалось, что мировое пространство заполнено всепроницающей субстанцией, названной *эфиром*, которая является средой распространения электромагнитных волн. Тем самым, считалось, что эти скорости, как и состояния поля, имеют силу в системе отсчета, неподвижной относительно эфира. При этом скорость света относительно движущегося в эфире наблюдателя должна складываться со скоростью самого наблюдателя, т.е. движущийся наблюдатель должен наблюдать «*эфирный ветер*». Естественно возникло желание измерить скорость движения Земли относительно эфира. Однако опыты показали, что «невозможно обнаружить абсолютное движение материи, или, точнее, относительное движение весомой материи и эфира» (А. Пуанкаре, 1985г). Это говорило об относительности движения, аналогично тому, как это имеет место в классической механике. Но считалось, что уравнения электродинамики Максвелла-Лоренца (УрМЛ) противоречат этому.

УРМЛ при переходе общепринятым в механике способом (преобразования Галилея) из эфирной системы отсчета (ЭСО) к системе отсчета, движущейся относительно него, изменяли свою форму. Г. Герц предложил так изменить УрМЛ, чтобы они не изменяли свою форму при преобразованиях Галилея. Однако такие уравнения породили эффекты, противоречащие опытам.

Для Г. Лоренца вера в существование эфира и в справедливость УрМЛ, являлись неотъемлемой частью его убеждений. Поэтому он поставил задачу выявить из УрМЛ те *дополнительные эффекты*, которые возникают в физической (электродинамической) системе, движущейся относительно эфира, при которых она оказалась бы изображением идентичной системы, неподвижной относительно эфира. Тем самым, электродинамические эксперименты в движущейся системе отсчета не позволят отличить ее движение в эфире от покоя. При этом Лоренц в значительной степени достиг поставленной цели, как он сам писал, за счет «математических ухищрений». Он открыл («угадал») преобразования пространственно-временных координат, отличные от преобразований Галилея, олицетворяющие искомые эффекты. А. Пуанкаре назвал их преобразованиями Лоренца (ПрЛ).

При этом Лоренц видел существенную разницу между движущейся системой отсчета и системой, связанной с эфиром, т.е. новый принцип относительности им не был до конца осознан.

Изящество и проблемы ЭйнСТО. В 1905г. А. Эйнштейн напечатал статью, которая определяла *новый взгляд на пространство и время,* а также появление *теории как таковой*. Теория построена на двух основных постулатах: постулате относительности и постулате о постоянстве скорости света (II-постулат). Эти постулаты использованы Эйнштейном для вывода ПрЛ. При этом абсолютное пространство и эфир были отвергнуты. Пространство объявлено пустым. Вопрос об обнаружении эфирного ветра потерял смысл по определению.

II-постулат утверждает, что в вакууме скорость распространения светового сигнала не зависит от движения источника и *во всех ИСО одинакова во всех направлениях*. Представить такой объект в рамках классических представлений нельзя. Поэтому смысл постулатов на этапе их формулировки не однозначен. Он в основном проясняется в процессе вывода ПрЛ. Поэтому возникает методологическая неувязка: осмыслить постулаты без ПрЛ трудно, а ПрЛ надо получить при неоднозначности «правил игры». Отсутствие наглядности исходных понятий порождает парадоксы, т.е. кажущую противоречивость.

Причиной трудности понимания ЭйнСТО является ее философская платформа. В классической механике в основе математического аппарата также лежит принцип относительности. Однако Ньютон вопреки математике абсолютизировал пространство, время и движение. Он построил свою механику на философской платформе материализма, которая исходит из объективной реальности пространства и времени безотносительно к внешнему наблюдателю. Это и есть «здравый смысл».

Платформой Эйнштейна стал явно обозначенный *физический релятивизм*, который исходит из понимания относительного как исключающего момент абсолютного. Он заявил, что «здравый смысл – это толща предрассудков, успевших отложиться в нашем сознании к 18-ти годам». Релятивистские эффекты, для которых «обыденный здравый смысл» ожидает наличия причинного объяснения, объявлены кинематическими.

В первую очередь к ним относится парадокс близнецов: космонавт после возвращения из путешествия окажется моложе своего брата-домоседа, что достигается за счет замедления времени, вызванного относительным движением (?).

Но понимание - дело наживное. Есть, однако, более серьезная претензия к ЭйнСТО. Редко можно встретить такое прямое заявление, которое сделал академик А.А. Логунов [3, с. 44]:

«К столетию теории относительности пора бы уже уяснить, что постоянство скорости света во всех инерциальных системах отсчета не является исходным положением теории относительности»

А это, конечно, - вопрос уже принципиальный. Ведь на базе этого постулата излагают СТО не только в литературе «для миллионов», но и в подавляющем числе учебников по физике, в том числе и для физических специальностей вузов.

Элитарность МинСТО. А. Пуанкаре в 1905г, опираясь на принцип относительности и открытые Лоренцем ПрЛ, показал, что ПрЛ вместе с пространственными вращениями образуют группу, названную им группой Лоренца. Эта группа имеет фундаментальный инвариант $J=c^2T^2-R^2$, где R - расстояние между двумя точками пространства, в которых произошли события, Т- промежуток времени между этими двумя событиями. Другими словами, мера J, названная *интервалом*, сохраняет свое значение в любой инерциальной системе отсчета (ИСО). Значению J=0 соответствует постоянство скорости света во всех ИСО.

Г. Минковский (1909г) на основе группы Лоренца и инвариантности интервала открыл псевдоевклидову геометрию пространства-времени: пространство и время образуют единый четырехмерный континуум событий с мерой J (мир Минковского). Поэтому в современных представлениях суть теории относительности состоит в следующем ***постулате*** [2, стр. 44]:

«все физические процессы протекают в четырехмерном пространстве времени, геометрия которого псевдоевклидова и определяется интервалом J»

Геометризация пространства-времени как целого – это качественный шаг. Он дает широкие математические возможности понимания и использования СТО. МинСТО – это элитная теория для физиков-теоретиков.

Аксиоматизированный эфирный подход (ЭфСТО). На взгляд автора, ситуация выглядит так. Для ЭйнСТО характерно отсутствие наглядности, а также отмеченная выше некорректность вывода ПрЛ и инвариантности интервала. МинСТО является современной теорией, однако она не может служить «теорией для миллионов», так как не опирается на «простые» физические постулаты, позволяющие «как бы на пальцах» понять основные релятивистские эффекты (в ЭйнСТО такую роль в определенной мере выполняет II-постулат). Развитие эфирного подхода Лоренца было прервано статьей Эйнштейна. Этот подход оказался незавершенным, т.к. полученные результаты не были трансформированы в простые постулаты о взаимодействии эфира с веществом и полем.

Поэтому предлагается эфирный подход на основе трех постулатов, устанавливающих простые отношения между такими физическими элементами реальности как эфирная среда, световой сигнал в эфире, часы, события, локальные процессы, стержень и процедуры измерения. Эти элементы и отношения между ними физически наглядны и доступны для понимания на уровне их формулировок. Поэтому следствия из такой конструкции не выглядят ни противоречивыми, ни парадоксальными. Наглядность является методологической ценностью ЭфСТО.

Из исходных положений ЭфСТО корректно следует теория эталонов времени и длины, ясен физический характер II-постулата, а также инвариантность интервала. Поэтому эфирный подход может быть индуктивно расширен до МинСТО.

Цели данной книги. Вначале Эйнштейн советовал «совершенно забыть об эфире и постараться никогда не вспоминать о нем». Это советуют и современные учебники. Но разве призывами можно заставить забыть Герострата?! И хотя в 1920г Эйнштейн признал совместимость существования эфира с ЭйнСТО, это признание больше напоминало форму речи. Поэтому физический релятивизм был неприемлем для многих как тогда (в том числе для Лоренца), так остается таковым и в наше время. При этом сторонники эфира, как правило, строят свои представления на отрицании СТО.

Отсутствие наглядности исходных положений СТО препятствует пониманию вещей. Это наглядно видно на интернет-форумах. Поэтому не кажется удивительным, что участники 2-ой Международной конференции «Проблемы пространства и времени в естествознании» предложили "отказаться от преподавания СТО в средней школе, а ее преподавание в высшей школе сопровождать критикой и изложением альтернативных подходов".

Отказываться не надо. Эфир и СТО совместимы.

У этой книги две цели:

1) показать, что эфирный подход и СТО совместимы;

2) предложить новую методологию построения СТО как индуктивный путь от ЭфСТО к МинСТО, при котором постулаты Эйнштейна играют вторичную роль.

Для этого:

- показано, что постулаты эфирного подхода совместимы с данными экспериментов, обладают физической ясностью и представляет собой основу теории эталонов времени и длины;

- обсуждены причины трудностей понимания ЭйнСТО и причина некорректности вывода ПрЛ из ее постулатов;

- дано представление о МинСТО для тех, кто ранее ограничивался изучением ортодоксальной СТО, и обсуждены вопросы геометризации пространства-времени;

- сопоставлены между собой ЭфСТО, ЭйнСТО и МинСТО по объему результатов и их интерпретации.

Примите существование эфира, и это откроет Вам «царский путь» в СТО без парадоксов и более широкий взгляд на физику пространства и времени.

Книга написана в расчете быть доступной учащимся старших классов и студентам технических вузов.

Исключение может составить раздел «3.2. Электродинамика» (в таком случае его можно пропустить без ущерба для понимания остального материала).

Автор также надеется, что затронутые методологические вопросы заинтересуют специалистов по СТО.

Список сокращений

СТО – специальная теория относительности
ЭйнСТО – подход к СТО на базе постулатов Эйнштейна
МинСТО – подход к СТО на базе мира Минковского
ЭфСТО – предлагаемый автором эфирный подход к СТО
ИСО – инерциальная система отсчета,
ЭСО – система отсчета, неподвижная относительно эфира
ПрЛ – преобразования Лоренца, МЭ – мысленный эксперимент
ИПЭ – измерительная процедура Эйнштейна
II-постулат – постулат о постоянстве скорости света (2-ой постулат)
УрМЛ – уравнения электродинамики Максвелла-Лоренца
ЭМ-поле – электромагнитное поле

1. ЭФИРНЫЙ ПОДХОД (ЭфСТО)

Эфир, который может являться носителем электромагнитного поля, его энергии и колебаний, я должен поневоле рассматривать, как нечто обладающее известной субстанциональностью, как бы отличен он не был от обычной материи. С этой точки зрения представляется естественным с самого начала не вводить предположение, что совершенно безразлично, движется тело через эфир или нет.

Г.А. Лоренц

Если, в отличие от Лоренца, этот путь пройти до конца, то наградой будет постижение истинного смысла теории, понимание существенного отличия действующего в этой теории принципа от классического принципа относительности Галилея-Ньютона.

А.А. Тяпкин

Я никогда не испытываю чувства полного удовлетворения до тех пор, пока не построю механическую модель изучаемого объекта. Если мне это удается, то я сразу все понимаю, в противном случае не понимаю.

Лорд У. Кельвин

1.1. Физические основы эфирного подхода

1.1.1 Постулат о распространении света в эфире

О существовании эфира. Ньютон в отношении света придерживался корпускулярной модели «свет – это сигнал-частица», т.е. «собственная» скорость света суммируется со скоростью источника. Однако в конце 19-го века физики были убеждены, что электромагнитные волны распространяются в особой невещественной среде, названной *эфиром*. При этом скорость света относительно эфира не зависит от движения источника.

Впервые это показал в 1913г Де-Ситтер из астрономических наблюдений за движением двойных звезд [5, с.74].

Пусть с большого расстояния L наблюдается круговое движение менее массивной звезды вокруг более массивной со скоростью V за период T. При этом движение происходит против часовой стрелки в плоскости, проходящей через направление от наблюдателя на звезду. Пусть $t_П$ и $t_Л$ - моменты времени, в которые наблюдатель примет сигналы, испущенные звездой соответственно в ее крайнем правом и крайнем левом положениях. Хотя левый сигнал испущен на время T/2 позже правого, но в условиях баллистической гипотезы он перемещался бы в пространстве со скоростью С+V, большей, чем скорость С-V правого сигнала. Тем самым, в какой-то момент левый сигнал догнал бы правый сигнал, а затем и обогнал бы его. Это означало бы, что наблюдатель увидит звезду одновременно в нескольких точках орбиты. Однако звезды-спутники движутся в соответствии с законами Кеплера без подобных странностей.

История проверок того, что скорость света не зависит от скорости источника, имела длинную историю сомнений и проверок. В конечном счете, гипотеза была хорошо подтверждена на бинарных рентгеновских пульсарах.

В 1924г. при наблюдении двойных звезд получено убедительное доказательство того, что звездная аберрация (сдвиг наблюдаемого положения звезды относительно истинного) не зависит от скорости звезды (см. подраздел 1.4.6).

Экспериментально независимость скорости света от движения источника подтверждает *опыт Саньяка* (1913г).

В опыте Саньяка на вращающейся платформе лучи света после раздвоения исходного луча от источника с помощью зеркал проходят по замкнутому контуру в разных направлениях и, складываясь, образуют интерференционную картину. При этом наблюдается смещение полос, увеличивающееся с увеличением числа оборотов, а также в зависимости от направления вращения платформы. Лучи движутся относительно поверхности земли независимо от вращения платформы, т.е. от движения источника света.

Аналогичный опыт, выполненный А. Майкельсоном (1925г), позволил измерить угловую скорость вращения Земли.

Кроме того, Майкельсон экспериментально показал, что скорость света, отраженного от движущегося зеркала, не зависит от его скорости.

Без представления об абсолютном пространстве нельзя представить себе, как световой сигнал (фотон) после его излучения источником определяет, относительно чего ему двигаться с постоянной скоростью, независимой от движения источника. Лично для автора это – существенный довод для признания абсолютного пространства и его субстанциональности (эфира).

Эфир – это, по существу, есть ньютоновское абсолютное или «истинное» пространство, пространство «само по себе», которому предписана полная неподвижность, и в этом плане он определяет абсолютную систему отсчета, с которым связано истинное абсолютное время. Эти абсолютные пространство и время являются исходной опорной точкой человеческого мышления. Вращение относительно пространства воспринимается как нечто реальное. Движение физической системы в эфирном пространстве оказывает влияние на темпы процессов в движущейся системе и размеры тел, что определяет метрические свойства пространства-времени в движущихся системах.

Ньютон, опираясь на абсолютное пространство, фактически построил теорию относительного движения. При этом для адекватности относительного движения абсолютному требуется принять баллистическая гипотезу в отношении света. Наоборот, независимость скорости света от движения источника в электродинамике дает даже больше оснований, чем механика Ньютона, опираться на понятие абсолютного пространства.

Эти вопросы будут подробнее изложены в подразделе 3.2.3.

Из явлений, косвенно указывающих на существование эфира, заслуживают также внимания следующие.

Реликтовое излучение. В 1965 г. «... обнаружен эффект, связанный с движением Солнечной системы и Галактики относительно фона реликтового излучения. ... Вследствие эффекта Доплера фотоны реликтового излучения, летящие навстречу наблюдателю, кажутся более энергичными, чем догоняющие наблюдателя. ...Оказалось, что Солнце движется со скоростью 390±60 км/сек в направлении созвездия Льва ... В связи с этим реликтовое излучение можно рассматривать как своеобразную выделенную систему координат во Вселенной» [8, с.635]. Эта выделенная система координат с позиции ЭфСТО связана с эфирной средой.

Анизотропия солнечных пятен. Выявлены три главные оси эллипсоида анизотропии солнечных вспышек и пятен, из которых одна направлена на центр Галактики, *вторая - на созвездие Льва*, а третья совпадает с осью вращения Земли. Это говорит о движении солнечной системы в некоей среде.

А.А.Ефимовым и А.А. Шпитальной выполнен анализ[1]
1) расположения наиболее ярких солнечных вспышек из числа наблюдавшихся за последние 40 лет (3543 вспышки),
2) 2700 групп солнечных пятен за последние 100 лет из гринвичских каталогов и "Солнечных данных".
Указанные оси эллипсоида анизотропии выявлены путем вычисления галактических координат изображений этих вспышек и пятен Солнца.

Авторы рассматривают полученные результаты как доказательство существования абсолютной системы отсчета, связанной с *реликтовым излучением Вселенной.*

Символ веры ЭфСТО. При создании СТО А. Эйнштейн вначале отверг эфир, так как постулировал принцип относительности, который может казаться несовместимым с существованием эфира. Оппоненты эфирного подхода порой также говорят: зачем нужен эфир, постулируйте просто существование изотропной выделенной ИСО. Математически, конечно, так поступить можно. Однако онтологическая ясность при этом будет потеряна. Представление об эфире определяет эффекты СТО как причинно обусловленные, что немыслимо для пустого пространства. Например:

- свойства эфирной субстанции определяют предельную скорость распространения поля относительно нее;
- часы, движущиеся в эфире, изменяют темп своего хода;
- стержень при его движении относительно эфира сокращается в направлении движения;
- инерционная масса тела с увеличением его скорости возрастает и др.

Хотя глубинная причина таких эффектов не определена, не должно казаться чем-то противоестественным их объяснение тем, что при движении тел относительно эфира они взаимодействуют с «эфирным ветром». В этом важный смысл акцентирования на *субстанциональности пространства.*

---

[1] Ефимов А.А., Шпитальная А.А. Об анизотропии вспышечной и пятнообразовательной деятельности Солнца в инерциальном пространстве. / "Физические аспекты современной астрономии". Л.: ЛГУ, 1985. С.147-154

«Символ веры» ЭфСТО - это онтологическая предпосылка о том, что *абсолютное* («истинное») *пространство является всепроницающей эфирной (не вещественной и не полевой) субстанцией. Геометрия эфирного пространства евклидова, и для всех его точек можно ввести единое «истинное» время.*

Эфир не увлекается движущимся веществом и ему не приписывается какое-либо механическое движение. Физические системы, движущиеся относительно эфира, продувает «эфирный ветер», чем оказывает воздействие на них.

Эту онтологическую предпосылку мы не будем объявлять отдельным постулатом, а будем постулировать базовые эффекты взаимодействия поля и вещества с эфиром. Цель этого - выяснить механизм формирования метрических свойств пространства и времени и понять, как *относительное рождается из абсолютного.*

Термин «эфир» сложился исторически. Понятно, что автор мог бы использовать и какой-нибудь иной термин, например «физический вакуум» лишь бы с ним связывались указанные выше и постулируемые ниже свойства.

Постулат о распространении света в эфире – это первый постулат ЭфСТО. Он отражает отношение между полем и эфиром.

Любое взаимодействие между удаленными телами (силовое или информационное), включая передачу светового сигнала, распространяется в эфире (абсолютном пространстве) со скоростью, которая *не зависит от типа и скорости движения своего источника* и равна константе <u>c</u> во всех направлениях.

Подобно тому, как скорость звука определяют через значения величин, характеризующих свойства вещества, в котором звук распространяется, так же скорость света в вакууме вычисляют через значения постоянной электростатической индукции ε_0 и постоянной электромагнитной индукции μ_0 с помощью соотношения $c=(\varepsilon_0\mu_0)^{-1/2}$. В ЭфСТО величины ε_0 и μ_0 характеризуют свободный эфир, т.е. эфир без вещества (вакуум). Пустое пространство не может дать представления о каких-либо его физических свойствах. Скорость света в разных вещественных средах различна и распространяется со скоростью меньшей <u>c</u>.

Системы отсчета и системы координат. Система отсчета – это твердое тело, по отношению к которому можно производить измерения положений, скоростей, ускорений материальных точек и физических характеристик полей. Систему отсчета, неподвижную относительно эфира, будем называть *абсолютной* или *эфирной* (ЭСО). Все системы отсчета, неподвижные относительно ЭСО или движущиеся с постоянной скоростью и без вращения, называют *инерциальными системами отсчета* (ИСО).

Обозначение 'ЭСО' используется вместо 'АСО' для того, чтобы не возникло ассоциации с пустым абсолютным пространством классической механики.

Важно отличать от ЭСО *выделенные ИСО*. Например, можно выделить ИСО, неподвижную относительно центра масс солнечной системы, центра масс Галактики и т.д. Поэтому вопрос о том, является ИСО, связанная с реликтовым излучением, «просто выделенной» или абсолютной (субстанционально выделенной), принципиально важен для ЭфСТО.

С системой (телом) отсчета можно связать различные *сетки* пространственных координат и времени. Под *системой координат*, как правило, подразумевают ИСО и связанную с ней ее координатную сетку, но ИСО может упоминаться в контексте подразумеваемой по умолчанию координатной сетки.

События и их локация в ЭСО. Одно из базовых понятий СТО – *событие* (выстрел, распад частицы, рождение звезды). Событие - это мгновенное проявление различимого состояния вещественного точечного объекта, который может быть назван *носителем события*, причем в момент самого события он может двигаться относительно ЭСО. Событие происходит в конкретной точке эфирного пространства и в конкретный момент истинного времени безотносительно к движению его носителя. Именно эта точка пространства является точкой, из которой идет распространение сигнала о событии (собственного или отраженного).

Координаты события, измеренные в ЭСО, будем, следуя Лоренцу, называть истинными. Рассмотрим инструментальный механизм для измерения истинных координат события. Пусть в точке О системы отсчета находится наблюдатель, который снабжен активным световым локатором (далее – локатор). Локатор снабжен часами и угломерными устройствами. Локация события состоит в том, что локатор излучает сигнал в такой момент $t_И$, чтобы он достиг носителя события в момент t самого события. Отраженный сигнал будет принят локатором в некоторый момент $t_П$. Тем самым, должно выполняться условие:

$$t=(t_П+t_И)/2. \qquad (1.1а)$$

При этом расстояние r от локатора до события определяется как

$$r=c(t_П-t_И)/2, \quad \text{причем } r^2=x^2+y^2+z^2, \qquad (1.1б)$$

где c – скорость света относительно эфира.

Величины r и t не зависят от выбора координатной сетки в ЭСО. Локатор может измерять также направление на событие в выбранной системе декартовых координат. Таким образом, четверка (x, y, z, t) определяет координаты события в ортогональной системе координат пространства-времени. Термин r-координаты будем использовать для пространственных координат (x, y, z). Тем самым, метод локации событий позволяет измерять координаты событий в ЭСО в соответствии с классическими представлениями о времени и пространстве. Скорость и ускорение материальной точки относительно ЭСО определяются по привычным для евклидовой геометрии правилам, включая векторное сложение скоростей и др.

ЭСО – это тот плацдарм, на котором привычно работает наша «обыденная» логика. Явления с позиции наблюдателя произвольной ИСО далее будем анализировать, отталкиваясь от ЭСО.

1.1.2 Постулат о замедлении времени

Локальные процессы. В ЭйнСТО популярен парадокс близнецов: брат-путешественник (П-брат) при возврате из путешествия оказывается моложе брата-домоседа (Д-брат). Физическую причину такого эффекта в пустом пространстве нельзя понять. В ЭфСТО мы с самого начала исключим здесь какую-либо парадоксальность путем постулирования влияния движения вещественного тела относительно эфира на темп хода процессов в нем.

Локальный процесс (Л-процесс) – это последовательность событий на точечном вещественном объекте-носителе. Носитель Л-процесса может двигаться относительно ЭСО, в том числе с ускорениями. Постулат *о замедлении времени* в упрощенной формулировке утверждает, что процессы на носителе, движущемся со скоростью V относительно ЭСО, замедляются в соотношении $(1-V^2/c^2)^{1/2}:1$.

Ниже уточняется смысл этого текста и будет дана его развернутая формулировка.

Темп хода движущихся часов. Для начала требует уточнения вопрос о том, что такое часы и темп их хода. *Часы* будем для наглядности представлять себе как последовательность событий, называемых *тиками* (часы тикают). При этом по определению считается, что:

- промежутки времени между соседними тиками одинаковы;
- часы изолированы от всех внешних влияний, но от влияния всепроницающего эфирного ветра их изолировать нельзя.

Часы как *эталон времени* должны быть построены на основе процессов, действующих на глубоком уровне вещества. Таковыми являются квантовые часы, в которых темп хода часов определяется процессами переходов элементарных структур вещества из одного состояния в другое.

Длительность промежутка времени определяется по числу тиков. Время, которое показывают движущиеся часы, будем называть их *собственным временем*, а соответствующее время, которое показывают часы, неподвижные в ЭСО, - *истинным временем*. Отношение этих величин характеризует темп хода движущихся часов.

Эффект замедления времени применительно к часам будем называть *постулатом о часах*[1]:

Промежуток собственного времени dt^{c}, которое показывают между двумя близкими засечками часы, движущиеся относительно эфира, зависит *только от их текеущей скорости V относительно эфира* (не зависит от ускорения) и меньше *истинного* промежутка dt в соответствии с соотношением:

$$dt^{c} = \chi(V)dt \qquad (1.2)$$

---

[1] Утверждение о замедлении физических процессов в материальных телах, движущихся через эфир, высказал Дж. Лармор в 1900г.

Здесь введена функция $\chi(v)$, которую будем называть *релятивистским радикалом*:

$$\chi(v)=\chi_v=(1-v^2/c^2)^{1/2}. \qquad (1.3)$$

Далее также будет использоваться обратная функция

$$\gamma(v)=\gamma_v=1/\chi(v) \qquad (1.4)$$

«Темп хода меньше», означает, что часы тикают реже.

Если часы движутся с постоянной скоростью и в некоторый момент показания движущихся часов и часов, неподвижных в ЭСО, совпадали, то из (2) имеем:

$$t^c=\chi(V)t \qquad (1.5а)$$

Сделаем замечание о сопоставлении времен t^c и t. Движущийся наблюдатель имеет собственные часы, он инициирует на своем носителе два события и засекает время t^c между ними. Эти события должны быть наблюдаемыми локатором в ЭСО, что позволяет локацией определить время t между ними по часам локатора, т.е. истинное время. Темп хода движущихся часов относительно часов локатора в ЭСО определяется соотношением $t^c/t<1$.

Предполагается, что имеется стандартная технология, которая позволяет *автономно* изготовить часы со стандартным значением тик-периода, т.е. без использования какой-либо их технической синхронизации с какими-либо внешними процессами (период вращения земли, период пульсара и т.д.) Эффект (2) создает сама Природа «автоматически». Не менее важно, что эталонные часы, перемещенные в данную ИСО$_2$ из ИСО$_1$, имеют такой же темп хода, как и часы, изготовленные в этой ИСО$_2$ по стандартной технологии.

Если часы перемещались относительно эфира от момента t_1 до t_2 со скоростью, которая в ЭСО изменялась как $V(t)$, то изменение t^c_{21} собственного времени при этом составит:

$$t^c_{21}=\int_{(t_1,t_2)}\chi(V)\,dt \qquad (1.5б)$$

Это дает ясное объяснение парадокса близнецов – у П-брата интеграл от $\chi(V)$ больше, чем у Д-брата.

Темп локальных процессов. Теперь важно осознать, что все локальные процессы подобны часам. Пусть:

t^c – промежуток собственного времени между двумя событиями локального процесса, носитель которого выполняет движение (возможно с ускорениями) относительно ЭСО;

t – соответствующий промежуток истинного времени.

Постулат о замедлении времени в полной формулировке:

Промежуток собственного времени t^c между двумя событиями *любого* локального процесса на носителе, движущемся относительно эфира, соотносится с промежутком t истинного времени так же, как для часов согласно (2, 3 и 5).

«Все мы - часы, а наши лица - циферблаты лет» (Эддингтон).

Эта универсальность эффекта дает основание говорить, что «в движущейся системе ***время*** *течет медленнее»*.

ЭйнСТО также не учитывают влияние ускорения на ход часов. Некоторые специалисты осторожны и говорят о часах, «на которые абсолютно не влияет ускорение тела» [7, с.83]. Для произвольного локального процесса предположение о независимости темпа от ускорения, конечно, весьма условно, так как локальный процесс - это не обязательно квантовые переходы в веществе, а макропроцесс, который может быть чувствительным к ускорениям. От ускорения часы могут даже сломаться.

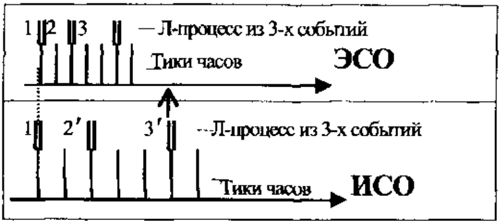
Из (5а) следует, что для самого света собственное время остановилось. Ни один вещественный объект не может достичь скорости света относительно эфира, т.к. время в нем остановится. Этим свет отличается от материальных часов. Поэтому нам придется различать *материальные процессы*, т.е. связанные с вещественными телами, и *сигнальные* процессы, связанные с распространением возмущений в эфире.

Л-процесс – это последовательность фаз, разделенных событиями процесса. Нетрудно убедиться, что

продолжительность отдельных фаз жизненного цикла Л-процесса и его продолжительность в целом по его собственным часам не зависят от движения его носителя.

Универсальность эффекта замедления времени Л-процессов можно трактовать как очень *узкий принцип относительности*: по измерениям собственных длительностей фаз Л-процесса нельзя выявить движение его носителя относительно ЭСО.

Парадокс близнецов можно пояснить на примере рисунка ниже. Пусть промежутки между тиками часов в движущейся ИСО увеличены по сравнению с таковыми в ЭСО. Дом двух братьев-близнецов неподвижен относительно ЭСО. Событие 1 – братьям исполнилось 20 лет и при этом брат-путешественник (П-брат) отправляется в космическое путешествие со скоростью, близкой к скорости



света. Время у П-брата течет примерно в 1.5 раза медленнее, чем у Д-брата. События 2 и 2′– братья отмечают свои 40-летия (каждый по своим часам). Событие 3 и 3′ – братья отмечают свое 70-летие. П-брат в момент своего 70-летия возвращается. Его брату-домоседу при этом 95 лет.

Итак, из постулата о темпе хода локальных процессов получены два важных следствия:

1) в каждой конкретной физически выделенной ИСО Л-процессы имеют свой собственный темп;

2) в любой ИСО один и тот же Л-процесс по собственным часам протекает одинаково.

Это означает, что Л-процессы в разных ИСО *физически не тождественны, они подобны.*

Заметим, что изложенное выше не зависят от того, какова в (2) зависимость коэффициента от скорости. Однако этому коэффициенту предназначена важная роль в объяснении физической причины принципа относительности событийных явлений (см. подраздел 1.5.5).

Экспериментальные подтверждения постулата о часах. Каждая элементарная частица характеризуется своей продолжительностью жизни. Это время может быть измерено для покоящейся частицы в лаборатории, которую мы на данном этапе нашего анализа отождествляем с ЭСО. Как следует из выше изложенного, эта же величина должна быть равна собственному времени $T_ж^c$ жизни и для движущейся частицы. С позиции лаборатории время жизни для движущейся частицы будет равно $T_ж^c/\chi_V$, т.е. увеличивается. Эффект убедительно наблюдается в экспериментах на ускорителях. При этом короткоживущие частицы достигают достаточно удаленной мишени, которой они не могли бы достичь за собственное время жизни, даже двигаясь со скоростью света.

Для того чтобы получить пучки нейтрино и антинейтрино, необходимо обеспечить полный распад π- и K-мезонов, в результате которого нейтрино и антинейтрино образуются. Для этого при ускорителе протонов вблизи Серпухова пришлось реально создать распадный *туннель длиной 250м вместо 10м*, если бы эффект замедления времени не существовал.

Есть эксперименты, которые подтверждают, что время жизни частиц не зависит от ускорения [5, с.99], а также от предварительно испытанного ускорения [9, с.170]. Так, движение μ-мезона в магнитном поле с постоянной скоростью по окружности с ускорением $4{\cdot}10^{16}$ м/сек^2 не повлияло на его время жизни.

В подразделе 1.2.1 будет изложен эксперимент, подтверждающий формулу замедления времени, на основе эффекта Доплера. Имеются подтверждения замедления времени путем транспортировки часов (эталона времени) на самолете [5, с.97] и др.

В ЭйнСТО трактуют эти опыты как подтверждающие *следствие* своих постулатов. При этом эффект трактуется как результат относительного движения, поскольку эфир отвергается. Физическая причина эффекта не объясняется, нужно лишь доверять формулам.

В ЭфСТО замедление времени - это физический эффект, поэтому будем называть его *хронофизическим эффектом.*

Синхронизация часов путем их переноса. Здесь мы рассмотрим важное следствие постулата о часах, связанное с синхронизацией в движущейся системе отсчета удаленных друг от друга часов А и В методом переноса.

Классических представления о времени предполагают принцип абсолютной одновременности: одновременным событиям в одной ИСО соответствую одновременные события и в любой другой. Рассмотрим некоторую чисто умозрительную процедуру синхронизации часов, находящихся в разных точках пространства ИСО, которая обеспечивает абсолютную относительность также в условиях постулата о замедлении времени. В [26] она названа *методом натуральной синхронизации.*

Пусть в некоторой ИСО во всех точках ее пространства имеются неподвижные часы. Пусть аналогичная ситуация имеет место и в ЭСО. Пусть в некоторый момент времени часы всех *точек пространства ЭСО* синхронизованы в соответствие с классическими представлениями. Пусть в некоторый единый для ЭСО момент t=0 («в начале времен») каждые часы ЭСО выдают сигнал, и каждый такой сигнал устанавливает в нуль те часы ИСО, которые находятся в точке пространства ИСО, совмещенной с соответствующей точкой пространства ЭСО. Это, естественно касается всех ИСО. Далее все часы в каждой ИСО идут со своим темпом, так что в каждой ИСО будет иметь место (1.5а): $t^e=\chi_V t$.

Однако это умозрительная, физически нереализуемая процедура. Экспериментатор реально может синхронизовать двое или более часов в одной точке и разносить их по пространству своей ИСО.

Рассмотрим K'-систему, скорость которой относительно ЭСО равна **v** и направлена по оси X. Поместим в точке O′ ее начала координат двое часов, на которых выставлены показания «нуль». И сразу же одни из них (R-часы) переместим с малой постоянной скоростью υ в некоторую точку, не обязательно на оси X. Относительно ЭСО скорость перемещаемых часов равна $\mathbf{V}=\mathbf{v}+\boldsymbol{\upsilon}$, т.е. $V^2=(v+\upsilon_x)^2+\upsilon_y^2$. При перемещении R-часов их показания t^*_R в соответствии с постулатом о часах будут равны $t\chi_V$, где t - время перемещения по часам ЭСО. При этом отличие показаний R-часов от показаний неподвижных O′-часов будет:

$$t^*_R-t^*_O=t\sqrt{[1-((v+\upsilon_x)^2+\upsilon_y^2))/c^2]}-t\sqrt{(1-v^2/c^2)},$$

При достаточно малой скорости перемещения R-часов членами $(\upsilon_x/v)^2$ и $(\upsilon_y/v)^2$ можно пренебречь:

$$t^*_R-t^*_{O'}\approx-\upsilon_x tv/c^2\sqrt{(1-v^2/c^2)}=-\gamma_v xv/c^2,\text{ где } x=\upsilon_x t. \qquad (1.5\text{в})$$

Таким образом, при синхронизации часов в движущейся ИСО путем их медленного переноса возникает эффект *относительности одновременности*, т.е. одинаковым показаниям у пары часов в

ЭСО (в данном случае после перемещения R-часов) соответствуют несовпадающие показания часов в движущейся ИСО.

В связи с изложенным важно иметь в виду, что формула (5а) относится к неподвижным часам в некоторой точке движущейся ИСО, которая в некоторый нулевой момент времени была синхронизована с нулевой точкой ЭСО, а соотношение (5в) определяет отношение для двух разнесенных точек в ИСО.

1.1.3 Об изменении длины стержня

Назовем *истинной длиной стержня, движущегося относительно эфира,* его длину, измеренную в ЭСО одновременной локацией положения (r-координат) обоих его концов. Это означает, что сигналы локации по отношению к каждому из концов должны быть испущены в разные моменты времени, но такие, чтобы они достигли обоих концов одновременно. В общем случае следует говорить о размерах тела, т.е. об одновременном достижении сигналами локации всех его точек.

Понятие истинной длины движущегося стержня, расположенного в направлении движения, можно мысленно представить как его тень на фотопленке, созданную путем его засветки таким источником с широкой апертурой. При этом все точки источника должны излучить сигнал предельно малой длительности одновременно по часам источника по всей длинѐ апертуры.
Возьмем стержень, вначале неподвижный относительно экспериментальной установки, измерим таким способом его длину. Затем будем повторять тот же эксперимент при различной скорости V стержня.

Как зависят размеры тела от его скорости V относительно эфира? Этот важный вопрос будет рассмотрен отдельно в разделе 1.6. Здесь же авансом важно отметить следующее:

> для анализа явлений, которые описываются в понятиях событий, вопрос о том, как изменяется истинная длина стержня при изменении его скорости или повороте и соответственно для вывода преобразований Лоренца не имеет значения.

Это утверждение здесь высказано для того, чтобы читатель мог далее проследить и убедиться, что во всех рассуждениях, связанных с выводом преобразований Лоренца, и вплоть до раздела 1.6 действительно никаких предположений о том, как изменяются размеры тела в зависимости от их скорости относительно эфира, не делается.

Тем не менее, этот вопрос принципиально важен для ответа на целый ряд проблем СТО. Эксперименты требуют признать *гипотезу Фицджеральда-Лоренца* о сокращении истинной длины движущегося тела в направлении его движения и принять ее в качестве *третьего постулата ЭфСТО* (см. подраздел 1.6.5).

1.2. Эффект Доплера

Эффект Доплера состоит в том, что *период/частота сигнала, воспринимаемого приемником, отличается от периода/частоты источника при их относительном движении.* Этот эффект интересен тем, что его анализ можно выполнить на основе двух постулатов ЭфСТО без определения инструментальной процедуры измерения момента времени и расстояния до удаленного события.

1.2.1 Продольный эффект

Классический продольный эффект. Сначала определим интересующее нас отношение периодов источника (И) и приемника (П) с позиции ЭСО. Постулат о часах затем позволит вычислить это отношение по собственным часам И и П.

Пусть И и П движутся относительно друг друга по одной прямой линии (продольный эффект Доплера). При этом И излучает импульсы с периодом $T_И$, а П принимает их с периодом $T_П$, где $T_И$ и $T_П$ измерены по часам ЭСО. Соотношения, связывающие $T_П$ с $T_И$ или соответствующие частоты, называют *классическими (акустическими) формулами эффекта Доплера.*

Рассмотрим эти формулы для трех случаев, когда относительно эфира движутся только И, либо только П, либо оба. При этом на достаточно рассмотреть отношение промежутков времени при приеме-передаче двух импульсов света:

а) *приемник неподвижен относительно эфира*, а источник движется со скоростью $V_И$ вправо, удаляясь от И. Второй импульс от И будет передан относительно первого с за-

$П_{\Omega} \xleftarrow{c} \longleftarrow И \bullet\!\longrightarrow V_И$

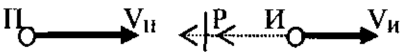
держкой $T_И$. Кроме задержки $T_И$, общее время $T_П$ задержки приема второго импульса включает время, которое нужно второму импульсу, чтобы пройти путь $T_И V_И$, пройденный И за время $T_И$. Так как скорость сигнала относительно неподвижного П равна <u>с</u>, то

$$T_П=T_И+T_И V_И/c=T_И(1+V_И/c); \qquad (1.6а)$$

б) *источник* И *неподвижен относительно эфира*, а приемник П движется со скоростью $V_П$ влево, причем расстояние между источником и приемником, как и в предыдущем случае увеличивается. В этом случае результат можно получить из (6а), если заменить $V_И$ на $V_П$ и учесть, что скорость сигнала относительно приемника равна $c-V_П$:

$$T_П=T_И(1+V_П/(c-V_П))=T_И/(1-V_П/c); \qquad (1.6б)$$

в) *движутся источник и приемник.* Если теперь представить себе неподвижный относительно эфира ретранслятор Р, расположенный между П и И, то будет ясно, что результирующий эффект $T_П/T_И$ определяется как произведение составляющих эффектов от раздельного движения И и П относительно Р. Для получения единой формулы эффекта будем считать значения скоростей И и П положительными, если они направлены вправо. Для случая, когда И расположен справа от П, имеем



$$T_П/T_И=(1+V_И/c)/(1+V_П/c). \qquad (1.6в)$$

Если же источник расположен *слева* от приемника, то надо в (6в) поменять знаки при $V_И$ и $V_П$ на противоположные.

Из (6в) видно, что при $V_И=V_П$ эффект Доплера отсутствует. При $V_И \neq V_П$ в точке встречи источника и приемника период принимаемых сигналов скачком увеличивается.

Из формул (6а, б) видно, что в ситуациях (а) и (б) при равенстве модулей $V_И$ и $V_П$ наблюдаемый эффект будет различным. Результат по формуле (6в) при $V_И \neq V_П$ будет иной, если одновременно увеличить на одну и ту же величину скорости $V_И$ и $V_П$, т.е. *эффект зависит от абсолютных скоростей источника и прием-*

ника относительно среды, а не от их относительной скорости $V_{ПИ}=V_И-V_П$. В этом смысле принцип относительности Галилея здесь не выполняется.

Релятивистская формула продольного эффекта. Теперь рассмотрим, как соотносятся периоды источника и приемника при измерении периодов по их собственным часам. Обозначим через $T^c_П$ и $T^c_И$ периоды событий по собственным часам П и И. Они связаны с периодами, измеренными по ЭСО-часам, соотношением (5а). Перейдем теперь в соотношении (6в) от времени по часам ЭСО к времени по собственным часам источника и приемника:

$T^c_П/T^c_И=T_П\chi(V_П)/T_И\chi(V_И)=[(1+V_И/c)/\chi(V_И)]/[(1+V_П/c)/\chi(V_П)]$.

Введем, полезную для дальнейшего функцию $\mathbf{Dr}v$:

$$\mathbf{Dr}(v)=(1+v)/(1-v^2)^{1/2}=[(1+v)/(1-v)]^{1/2}. \qquad (1.7а)$$

Очевидно, что

$$\mathbf{Dr}(-v)=1/\mathbf{Dr}v; \quad \mathbf{Dr}(0)=1. \qquad (1.7б)$$

С учетом (7а, б) и (3) имеем для источника справа от приемника:

$$T^c_П/T^c_И=\mathbf{Dr}V_И/\mathbf{Dr}V_П=\mathbf{Dr}V_И\mathbf{Dr}(-V_П). \qquad (1.8а)$$

Если источник расположен слева от приемника, то

$$T^c_П/T^c_И=\mathbf{Dr}(-V_И)\mathbf{Dr}(V_П). \qquad (1.8б)$$

Из (8а, б) видно, что $T^c_П/T^c_И$ в отличие от $T_П/T_И$ будет одним и тем же независимо от того, кто движется, источник или приемник, так как в отличие от (6а) и (6б) здесь результат при $V_И=V$ и $V_П=0$ тот же, что при $V_И=0$, $V_П=V$.

Релятивистская относительная скорость. Функция $\mathbf{Dr}v$ имеет следующее важное свойство:

$$\mathbf{Dr}v_2\cdot\mathbf{Dr}(-v_1)=\mathbf{Dr}v, \qquad (1.9)$$

где

$$v=(v_2-v_1)/(1-v_2v_1/c^2). \qquad (1.10)$$

При выполнении выкладок по проверке (9, 10) надо использовать следующее, легко проверяемое тождество:

$$\boxed{\chi(v_2)=\chi(v_1)\cdot\chi(v)/(1-v_2v_1/c^2),\ \text{где}\ v=(v_2-v_1)/(1-v_2v_1/c^2).} \qquad (1.11)$$

Это тождество окажется полезным также в дальнейшем.

С учетом (7б, 9, 10) соотношения (8а, б) представим в виде:

$$T^c_П/T^c_И=\mathbf{Dr}^Rv, \qquad (1.12а)$$

где

$$(V_И-V_П)/(1-V_ИV_П/c^2), \qquad (1.12б)$$

R=1, если источник справа, иначе R=-1.

Здесь $V_И$ и $V_П$ – это скорости относительно эфира с учетом знака их направления по отношению к выбранному положительному направлению. Для R=1 $V_И>V_П$ означает удаление источника от приемника. При встрече И и П значение R и соответственно $T^c_П/T^c_И$ изменяются скачком.

Из формулы (12а) видно, что для расчета эффекта Доплера достаточно использовать некую расчетную скорость v в соответствии с формулой (12б). Эту расчетную скорость будем, как принято в СТО, называть *релятивистской относительной скоростью источника относительно приемника.* Там, где контекст ясен, слово «релятивистский» будем опускать.

Релятивность. Нижеследующую формулу

$$\boxed{v_2=(v_1+v)/(1+v_1v/c^2)} \qquad (1.13)$$

принято называть *релятивистским правилом сложения скоростей* для движения двух точек по одной прямой (вторая точка движется со скоростью v относительно первой).

Формула (13) обладает групповым свойством. Это означает следующее. Рассмотрим множество скоростей $\{\upsilon\}$ и на нем бинарную *операцию* $\oplus$ *релятивистского сложения скоростей*. Эта операция ставит в соответствие каждым двум элементам множества v_1 и v результирующую скорость v_2 с помощью (13):

$$v_2=v_1\oplus v\equiv(v_1+v)/(1+v_1v/c^2). \qquad (1.14)$$

Множество $\{\upsilon\}$ совместно с операцией (14) образует ***группу***, причем коммутативную, т.е.:

1) существует нулевая скорость;
2) для каждой скорости v существует такая скорость –v, что $v\oplus(-v)=0$;
3) операция ассоциативна, т.е. $(v_1\oplus v_2)\oplus v_3=v_1\oplus(v_2\oplus v_3)$;
4) операция $\oplus$ коммутативна, т.е. $v_1\oplus v_2=v_2\oplus v_1$.

Свойства (1), (2) и (4) очевидны. Убедимся в ассоциативности операции:

$(v_1\oplus v_2)\oplus v_3= =\{[(v_1+v_2)/(1+v_1v_2/c^2)]+v_3\}/\{[1+(v_1+v_2)(1+v_1v_2/c^2)]v_3/c^2\}$,

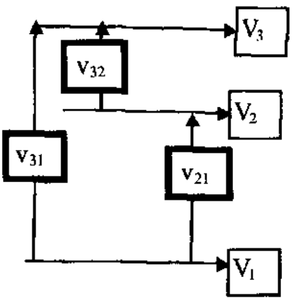
$v_1\oplus(v_2\oplus v_3)=\{v_1+[(v_2+v_3)/(1+v_3v_3/c^2)]\}/\{1+[(v_2+v_3)(1+v_2v_2/c^2)]v_1/c^2\}$, т.е. $(v_1\oplus v_2)\oplus v_3=v_1\oplus(v_2\oplus v_3)=(v_1+v_2+v_3+v_1v_2v_3/c^2)/[1+(v_1v_2+v_1v_3+v_2v_3/c^2)]$.

Формулу (10) будем трактовать как операцию $\boxminus$ релятивистского вычитания:

$$v=v_2\boxminus v_1=v_2\oplus(-v_1)=(v_2-v_1)/(1-v_2v_1/c^2), \qquad (1.15а)$$

причем $v=v_2\boxminus v_1 \;\Rightarrow\; v_2=v_1\oplus v$. (1.15б)

Операция $\boxminus$, как и операция обычного вычитания чисел, не является ни коммутативной [5–3≠3–5], ни ассоциативной [(5–3)–1]≠[5-(3-1)]. Но она обладает другим замечательным свойством. Рассмотрим трех наблюдателей, движущихся относительно эфира со скоростями V_1, V_2 и V_3. Пусть первый из них может измерить относительно себя скорости второго v_{21} и третьего v_{31} наблюдателей: $v_{31}=v_3\boxminus v_1$ и $v_{21}=v_2\boxminus v_1$; а второй – относительную скорость третьего $v_{32}=v_3\boxminus v_2$.



Оказывается, что скорость v_{32} можно непосредственно вычислить без использования информации о скоростях V_1,V_2 и V_3, а лишь на основе данных об v_{31} и v_{21}, а именно: $v_{32}=v_{31}\boxminus v_{21}$. Другими словами,

$$\{v_{31}=V_3\boxminus V_1,\ v_{21}=V_2\boxminus V_1,\ v_{32}=V_3\boxminus V_2\} \Rightarrow v_{32}=v_{31}\boxminus v_{21}. \qquad (1.16)$$

Это легко проверить, опираясь на групповые свойства операции $\oplus$ и определения (15) для $\boxminus$.

Свойство (16) назовем ***свойством релятивности***:

если имеем нескольких движущихся объектов с заданными скоростями в какой-либо системе отсчета, то можно одного из них считать условно покоящимся, а остальных - движущимися относительно первого с релятивистскими относительными скоростями.

В силу (8) и (9) это означает, что величина эффекта Доплера зависит только от релятивистской скорости И относительно П, независимо от того, кого считать движущимся: И, П или обоих.

На данном этапе рассуждений это лишь некая расчетная величина, имеющая размерность скорости, но далее будет показано, что она является относительной скоростью, которая определяется через производные от координат приемника, измеренные локацией на источнике.

Тем самым, оказывается, что

> абсолютное движение относительно эфира на базе эффекта Доплера обнаружить нельзя по той причине, что измерения относительных скоростей с помощью этого эффекта адекватно их прямому измерению с помощью локации.

Будем говорить, что *хронофизический эффект релятивирует эфир для эффекта Доплера*, т.е. приводит к невозможности обнаружить движение относительно эфира на основе данного эффекта.

> по отношению к эффекту Доплера выполняется принцип относительности.

Существенно, что это обеспечивается постулатом о часах именно с коэффициентом (3).

Измерение скорости на основе эффекта Доплера. Пусть природа источника периодического сигнала такова, что его технически можно неподвижно поместить в лабораторную систему отсчета и при этом измерить собственный период $T^c_И$. Это, например, имеет место для линий излучения атомов. В соответствии с принципом неразличимости хода процессов по собственным часам это измеренное $T^c_И$ будет иметь силу и для источника, движущегося относительно приемника. Тем самым, величину $T^c_И$ будет знать любой наблюдатель, которому известна природа наблюдаемого источника. Наблюдатель на приемнике может измерить $T^c_П$ и вычислить $d=T^c_П/T^c_И$.

По классическим представлениям d определяется из (6в). Кроме того, наблюдатель на приемнике может, кроме $d=T_П/T_И$, измерить также относительную (нелятивистскую) скорость $V_{И/П}=V_И-V_П$. Опираясь на (6в) при неравных $V_П$ и $V_И$ можно по заданным d и $V_{И/П}$ вычислить сами значения $V_П$ и $V_И$. Т.е. согласно классическим представлениям можно определить абсолютные скорости (относительно среды) наблюдателя и приемника. Заметим, что при малых скоростях И и П соотношение (6в) принимает вид:

$$T_П/T_И=(1+V_И/c)/(1+V_П/c)\approx(1+V_И/c)\,(1-V_П/c)\approx 1+(V_И-V_П)/c,$$
т.е. определить сами значения $V_И$ и $V_П$ невозможно.

В условиях постулата о часах по значению d из (12а) можно найти только релятивистскую относительную скорость v из соотношения:

$$v/c=(d^2-1)/(d^2+1). \qquad (1.17)$$

Эта же величина измеряется и путем локации (см. подраздел 1.4.2), т.е. мы уже не имеем второго уравнения для вычисления абсолютных скоростей.

К. Доплер впервые теоретически обосновал эффект для акустики и света в 1842г. Затем эффект нашел его применение в астрономии для измерения лучевых скоростей звезд по смещению спектральных линий по сравнению с положением этих линий для земных источников. В настоящее время число изученных спектров звезд достигает 350 тысяч.

Измерения скоростей звезд не позволяет проверить релятивистскую формулу эффекта Доплера ввиду того, что скорости малы по сравнению со скоростью света, а точность их измерения другими методами низка.

В 1929 г. Э. Хабл своими наблюдениями подтвердил концепцию расширяющейся Вселенной А.А. Фридмана: галактики удаляются от нас, причем со скоростями, пропорциональными их удаленности вплоть до скоростей, сопоставимых со скоростью света (красное смещение). Однако природа красного смещения отличается от эффекта Доплера.

Опыты Г. Айвса и Д. Стиллуэла. Эффект Доплера является эффектом первого порядка, т.е. при малых скоростях он пропорционален относительной скорости. Идея экспериментов Г. Айвса и Д. Стиллуэла, выполненных в 1938г и 1941г, состоит в измерении эффекта второго порядка, который возникает при определенной организации опыта, опирающего на комбинацию эффектов первого порядка, а именно в основе опыта лежит соотношение:

$$(\mathbf{Dr}V+\mathbf{Dr}(-V))/2=1/\chi(V)\approx 1+V^2/2,$$

т.е. среднее изменение частоты (величина обратная периоду) для продольного эффекта Доплера в двух противоположных направлениях является эффектом второго порядка.

В опыте наблюдалось световое излучение быстрых ионов водорода, разогнанных в газоразрядной трубке. При этом, используя зеркало, одновременно наблюдали свет, испущенный как вперед, так и в обратном направлении. Скорость частиц при этом измерялась двумя способами:

а) путем наблюдения обычного продольного эффекта в излучении одного направления;

б) путем расчета через известную разность потенциалов в трубке.

В результате получено хорошее совпадение между наблюдавшимся эффектом и предсказанным эффектом второго порядка [19, с.161].

Г. Айвс истолковал результат опыта с эфирных позиций как замедление процесса светового излучения быстрых ионов водорода. Замечание оппонентов о том, что результат в равной мере соответствует ЭйнСТО, экспериментаторы проигнорировали, так как в опыте непосредственно не проверялось его отношение к принципу относительности.

1.2.2 Поперечный эффект

Поперечный эффект Доплéра. Если источник вращается со скоростью $V_И$ на некотором расстоянии вокруг наблюдателя, неподвижного в ЭСО, то по классическим представлениям период $T_П$ колебаний, воспринимаемых приемником, будет равен периоду $T_И$ колебаний источника: $T_И=T_П$. Однако в условиях (5а) постулата о часах: $T^c_И=T_И\chi(V_И)$. А так как при этом $T_П=T^c_П$, то $T^c_П=T^c_И/\chi(V_И)$. Это соотношение характеризует эффект, называемый *поперечным эффектом Доплера*. Можно сказать, что в данном случае наблюдается чистое замедление времени на источнике по отношению к времени приемника. Частота колебаний на источнике увеличивается, т.е. спектр сдвигается в красную сторону.

Если, наоборот, источник неподвижен, а приемник вращается вокруг него, то замедление времени будет на приемнике, что создаст эффект увеличение частоты на приемнике по сравнению с его известной частотой в состоянии покоя, т.е. будет сдвиг в фиолетовую сторону спектра: $T^c_П=T^c_И\chi(V_П)$.

Заметим, что при малых скоростях $\chi(v)\approx v^2/2c^2$. По этой причине поперечный эффект называют эффектом 2-го порядка в отличие от продольного эффекта первого порядка.

Опыты Д. К. Чемпни и др.[1] Экспериментаторы выполнили три следующих опыта:

1) вокруг неподвижного источника гамма-излучения вращался приемник. При этом наблюдался фиолетовый сдвиг частоты, соответствующий по величине поперечному эффекту Доплера;

2) вокруг неподвижного приемника вращался источник гамма-излучения. При этом наблюдалось красное смещение частоты, соответствующее по величине поперечному эффекту Доплера;

3) источник и приемник вращались на диаметрально противоположных точках окружности. Сдвига частот не было.

Экспериментаторы специфически интерпретировали третий опыт, полагая, что в нем должен быть поперечный эффект, соответствующий удвоенной относительной скорости источника и приёмника. Однако такое ожидание ошибочно. Темп времени на источнике и приемнике замедлились одинаково, поэтому и нет сдвига частот.

Иногда пытаются обосновать результаты опытов 1 и 2 действием ускорения на темп локальных процессов. Однако ускорение же источника/приемника, как уже отмечалось ранее на основе опыта с мю-мезоном, не может повлиять на темп хода часов.

На наш взгляд, если выполнить опыт типа 1 или 2, в котором в некоторый момент происходит отрыв источника от ротора, то сдвиг частоты в первое мгновение останется прежним, а затем начнет изменяться по мере изменения расстояния между источником и ротором.

Общий случай. В общем случае источник может двигаться под углом к приемнику. Общая формула эффекта Доплера может быть получена из формулы акустического эффекта Доплера, в которую надо добавить замедление времени. Так для случая, когда:

1) приемник неподвижен: $T^c_П/T^c_И=(1+V_И\cos\alpha_И/c)/\chi(V_И)$, (1.18а)

2) источник неподвижен: $T^c_П/T^c_И=\chi(V_П)/(1+V_П\cos\alpha_П/c)$. (1.18б)

где $\alpha_И$ и $\alpha_П$ - углы между направлением скорости источника или приемника и линией их соединяющей.

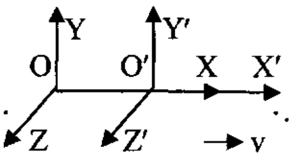
---

[1] Отсутствие доплеровского сдвига при движении источника и детектора гамма-излучения по одной круговой орбите. Эйнштейновский сборник. 1978 - 1979. Наука, М., 1983, с. 319.

Этот общий случай подробно рассмотрен в подразделе 2.2.2. («Распространение света под углом к оси X»).

1.3. Измерение координат события в ИСО

Базовое семейство ИСО. Далее в основном ограничимся рассмотрением специального подмножества инерциальных систем координат, как это принято в СТО (рис. ниже). Во всех ИСО используются декартовая (прямоугольная) сетка пространственных координат. При этом во всех ИСО оси абсцисс совпадают, и взаимное движение ИСО происходит вдоль этого направления. Оси Y и Z всех ИСО параллельны. Принимается, что событию $x=y=z=t=0$ в некоторой K-системе в любой K'-системе соответствует $x'=y'=z'=t'=0$. С позиций ЭфСТО среди всех ИСО есть одна абсолютная - ЭСО. K-система имеет скорость V относительно ЭСО.



Такую конфигурацию систем отсчета и координатных сеток будем называть *базовым семейством ИСО.*

То обстоятельство, что взята система декартовых (ортогональных) пространственных координат, не является принципиальным, мы могли бы взять косоугольную или сферическую систему координат. Принципиально, однако, предположение, что ***в каждой ИСО геометрия пространства евклидова***.

Об измерении и преобразованиях координат события. Постулата о распространении света и постулата о часах достаточно, чтобы решать в рамках ЭСО любые задачи кинематики *материальных точек* и обмена сигналами между ними. С учетом этих постулатов применимы все рассуждения, используемые в классической кинематике, в частности, правило векторного сложения скоростей.

Если в явлении участвует протяженное движущееся тело, то вопрос о его кинематики требует использование третьего постулата, который рассмотрен в разделе 1.6.

Если при анализе явлений потребуется дополнительно знать продолжительность протекания Л-процессов по их собственному времени, то этот вопрос решается непосредственным применением постулата о часах, что, в частности, продемонстрировано при анализе эффекта Доплера и парадокса близнецов.

ЭфСТО исходит из того, что описание явления и его законов с позиции ЭСО является законным и истинным.

Это утверждение, кажущееся на первый взгляд, очевидным, имеет глубокий смысл.

Однако такой путь означал бы всегда «плясать от печки», т.е. от ЭСО как посредника. Однако классическая механика основана на том, что наблюдатель в каждой ИСО может измерить координаты события (r-координаты и момента времени) *автономно*, т.е. независимо от того, какие еще другие ИСО и наблюдатели в них существуют.

Это возможно в силу того, что для всех ИСО предполагаются единые эталоны длины и времени, причем понятие одновременности имеет абсолютный характер (не зависит от ИСО). Казалось бы, что для таких представлений достаточным является предположение о возможности считать передачу световых сигналов мгновенной, но фактически это предполагает и независимость размеров тел и темпа хода часов от их движения в абсолютном пространстве.

При этом по заданным значениям r-координат и времени некоторого события, заданного в ИСО$_1$, с помощью преобразования координат можно найти координаты этого события в другой ИСО$_2$. Параметрами такого преобразования являются только *относительная* скорость этих двух ИСО и взаимное расположение их координатных сеток в некоторый момент времени, т.е. величины, касающиеся только данной пары ИСО без посредничества ЭСО. В этом плане преобразование в целом можно назвать *автономным*. Для базового семейства ИСО в качестве обсуждаемого преобразования служит преобразование Галилея: $x=x\text{-v}t$, $y=y$, $z=z$, $t=t$.

В отличие от классических представлений в ЭфСТО заранее не очевидно, что в условиях ее постулатов существует автономная инструментальная процедура измерения координат событий, которой соответствует автономная вычислительная процедура их преобразования (пересчета) при переходе наблюдателя из одной ИСО в другую. Этот пересчет должен дать величины, которые фактически измерит наблюдатель в ИСО$_2$ с помощью автономной процедуры, примененной в ИСО$_2$ в условиях постулатов ЭфСТО. Иначе в них не было бы смысла. Поэтому мы наше исследование с предположения, что такая возможность существует (что это так, мы, конечно, подглядели в ЭйнСТО). Заметим, что возможность отказа от посредника сама по себе не исключает возможность измерения скорости ИСО относительно ЭСО. Но далее будет показано, что в рамках всех трех постулатов ЭфСТО это не возможно.

Математическое условие автономности процедуры. Пусть некоторая физическая величина ξ в К-системе характеризуется некоторым набором компонент. В частном случае, в роли ξ выступает «событие», характеризующееся своими координатами (x,y,z,t). Пусть при переходе из К в К' величина ξ преобразуется по правилу $\xi'=\mathbf{P}(\mathbf{v}_1)\xi$, где $\mathbf{P}(\mathbf{v})$ - это оператор преобразования величины ξ для двух ИСО с относительной скоростью $\mathbf{v}$, а $\mathbf{v}_1$ - скорость К' относительно К, автономно измеряемая в К. Аналогично можно из К перейти к К'': $\xi''=\mathbf{P}(\mathbf{v}_2)\xi$, где $\mathbf{v}_2$ - скорость К'' относительно К. Здесь важно понимать, что оператор $\mathbf{P}$ дает новые значения ξ' и ξ'', которые должны представлять собой результат фактического применения измерительной процедуры в системах К' и К''. Можно перейти из К в К'' также через промежуточную систему К': $\xi''=\mathbf{P}(\mathbf{v}_{21})\xi'=\mathbf{P}(\mathbf{v}_{21})*\mathbf{P}(\mathbf{v}_1)\xi$, где $\mathbf{v}_{21}$ – скорость К'' относительно К', автономно измеряемая в К', а звездочка (*) означает последовательное выполнение операторов: сначала $\mathbf{P}(\mathbf{v}_1)$, затем $\mathbf{P}(\mathbf{v}_{21})$. Это требование является условием совместимости преобразований $\mathbf{P}(\mathbf{v}_1)$, $\mathbf{P}(\mathbf{v}_2)$ и $\mathbf{P}(\mathbf{v}_{21})$, вытекающее из автономности преобразования $\mathbf{P}(\mathbf{v})$. Тем самым, должно быть $\mathbf{P}(\mathbf{v}_2)=\mathbf{P}(\mathbf{v}_{21})*\mathbf{P}(\mathbf{v}_1)$.

Это означает, что преобразование $\mathbf{P}(\mathbf{v})$ в пространстве величины ξ должно быть группой с параметром $\mathbf{v}$. При этом дополнительно для параметра $\mathbf{v}$ должно существовать преобразование $\mathbf{v}_2=\psi(\mathbf{v}_{21}, \mathbf{v}_1)$, которое само обладает групповыми свойствами.

Наша последующая задача, таким образом, найти преобразование $\mathbf{P}(\mathbf{v})$ и показать его групповые свойства. Другими словами, задача состоит в выборе *автономной* измерительной процедуры и доказательстве того, что при этом само преобразование координат также будет автономным (обладает групповыми свойствами).

Измерительная процедура Эйнштейна. В качестве автономного технически мыслимого инструмента принимается активный снабженный часами и вычислителем световой локатор, расположенный в начале системы пространственных координат ИСО. Локатор излучает сигнал локации в такой момент $\overset{c}{t}_{\text{И}}$ собственного времени, чтобы этот сигнал достиг объекта-носителя события в момент самого события. Отраженный сигнал будет принят в момент $\overset{c}{t}_{\text{П}}$. Вычислитель вычисляет момент времени события и расстояние до него по некоторым формулам как функции от измеряемых значений $\overset{c}{t}_{\text{И}}$ и $\overset{c}{t}_{\text{П}}$.

Эти формулы должны также давать правильный результат при измерениях в ЭСО. В ЭСО таковыми являются формулы (1а, б), причем это единственные формулы, которые корректно отражают постулат о распространении света. Поэтому на них неизбежно должна базироваться *автономная* измерительная процедура в любой ИСО. В самом деле, если в эту процедуру включить скорость ИСО относительно ЭЭСО, то она не будет автономной. По существу, постулат о распространении света в эфире не оставляет нам выбора: принимается измерительная процедура, адекватная (1а, б), которую назовем *измерительной процедурой Эйнштейна* (далее ИПЭ)[1]:

наблюдатель в любой ИСО в качестве измерительной процедуры использует активную локацию события, а оценки для момента t' события и расстояния r' до него вычисляет по соотношениям:

$$t'=(\overset{c}{t}_{\text{И}}+\overset{c}{t}_{\text{П}})/2, \qquad (1.19)$$

$$r'=c(\overset{c}{t}_{\text{П}}-\overset{c}{t}_{\text{И}})/2. \qquad (1.20)$$

Символ «с» над t указывает, что этот момент времени определен по собственным часам локатора. Штрих при t и r указывает, что это - оценки, выполненные наблюдателем в своей ИСО. Расстояния при этом измеряются от локатора, а время от некоторого момента, когда его часы показывали 0.

---

[1] До А. Эйнштейна ее рассматривал А. Пуанкаре, но Эйнштейн положил ее в обоснование своего аксиоматизированного подхода.

«Мы имеем дело не с геометрией, а с хроногеометрией, когда длины и интервалы времени измеряются одними и теми же приборами – часами» (Дж Синг).

Кроме (19,20) принимается, что пространство любой ИСО евклидово. Это представляется естественным, так как пространство ЭСО евклидово, а различие темпов хода часов в них не могут сделать пространство ИСО неевклидовым. Поэтому в K'-системе можно ввести систему декартовых координат (x',y',z'), причем:

$$r'^2=x'^2+y'^2+z'^2. \qquad (1.21а)$$

Как будет показано далее, параллельность осей Y и Z имеет место с позиции всех ИСО, а не только ЭСО. Будет также показано, что направления, под которыми исходит и возвращается сигнал локации события, совпадают. Углы, определяющие это общее направление в рамках выбранной системы осей r-координат, могут быть измерены. Они дополняют информацию о событии.

Связь между этими углами и координатами определяется тригонометрией. Если ограничиться ситуацией, когда $z=0$, то

$$x'=r'\mathbf{cos}\theta'; y'=r'\mathbf{sin}\theta'; \mathbf{tg}\theta'=y'/x', \qquad (1.21б)$$

где θ - угол между вектором события $\mathbf{r}$ и осью абсцисс.

Очевидно, что в двух разных ИСО масштабы времени окажутся разными в силу постулата о часах, но нам с самого начала надо настроиться на то, что масштабы длины тоже окажутся разными, так как длина измеряется через собственное время. Это приведет к тому, что и углы, определяющие направление на событие, будут разными в разных ИСО: $\mathbf{tg}\theta'=y'/x'\neq\mathbf{tg}\theta=y/x$. Это следует понимать так: тангенс угла, определяющий направление, есть отношение катетов треугольника, на которые опирается это направление (гипотенуза треугольника). Будет ли при этом иметь место параллельность осей Y и Z и их перпендикулярность X во всех ИСО базового семейство инерциальных систем? Это не является очевидным. «Однако если этого предположения не сделать, преобразование будет нарушать симметрию относительно оси X» [15, с.55]. К этому вопросу мы еще вернемся.

ИПЭ, как она описана выше, определяет процедуру измерения координат события в реальном времени. Но она позволяет мыслить пространство-время в каждой ИСО арифметизированным до начала эксперимента или после него.

Арифметизация пространства-времени означает нижеследующее. Каждая точка пространства ИСО, образно говоря, снабжена столбиком с надписью координат этой точки и с часами на столбике. Данные о координатах события можно прочитать на столбике и на часах этого столбика.

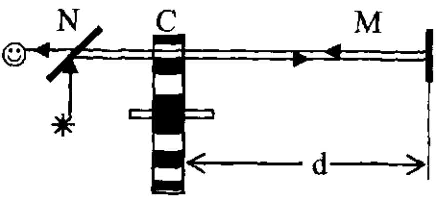
Эта система столбиков с часами для каждой ИСО своя. Все часы внутри каждой ИСО идут с одним и тем же темпом и синхронизованы между собой. Таким образом, в каждой ИСО введено собственное единое время и единый масштаб длины. Это достигается с помощью ИПЭ.

Постоянство скорости света. Из (19) и (20) непосредственно следует $t'=\tau+r'/c$, (1.22)

где $\tau=t^c_И$ - момент приема сигнала в K′-системе. Соотношение (22) по существу означает, что масштабы измерения расстояния и времени будут установлены такими, чтобы момент события исчислялся так, как если бы свет от события шел с одной и той же скоростью независимо от скорости движения наблюдателя. Тем самым, ИПЭ уже само по себе гарантирует *эффект постоянства скорости света в любой ИСО.* Этот эффект будет иметь место независимо от того, что с позиции ЭСО скорость света в ИСО зависит от направления.

А является ли такое постоянство скорости света физическим законом?

Основные методы измерения скорости света базируются на схеме эксперимента по измерению средней скорости в направлении «туда и обратно», выполненного впервые Физо в 1849 году. Эта схема представлена на рис. слева. Свет от источника ✱ нарезается на «куски» вращающимся зубчатым колесом С, после отражения от зеркала *M* на обратном пути снова проходит через прорези колеса С и доходит до наблюдателя ☺.



Если скорость вращения колеса и его геометрические параметры таковы, что за время прохождения пути туда и обратно колесо поворачивается с прорези на зуб, то наблюдатель не будет видеть света. Среднюю скорость получим, разделив расстояние *2d* на время, за которое колесо поворачивается с прорези на зуб.

Идея этого опыта легла в основу более точных методов измерения скорости света, основанных на безинерционных прерывателях луча света. Современные методы основаны на формуле $c=\lambda\nu$. В частности, путем измерения частот ν и длин волн λ гелий-неонового лазера скорость света измерена с точностью 1.1 м/сек [19, с.45].

С позиции двух постулатов ЭфСТО не очевидно, что таким образом измеренная скорость света не будет зависеть от скорости Земли относительно эфира. Однако в 1967г. Международный комитет мер и весов в качестве эталона времени принял секунду, как продолжительность $9{,}192631770\cdot10^9$ периодов колебаний (тиков) определенного излучения атома цезия 133 в стандартных условиях. А Генеральная конференция по мерам и весам в 1975г. приняла значение скорости света в качестве мировой константы, равной точно $c=2.999792458\cdot10^9$ м/сек. Точнее говоря, определен эталон единицы времени, а единица длины определена как путь, проходимый светом за $1/2.999792458\cdot10^9$ долей секунды. Таким образом,

$$\boxed{\text{мера длины определяется часами.}}$$

Это не исключает самостоятельного существования эталона длины в виде длины волны криптоновой газоразрядной лампы или платиноиридиевого бруска.

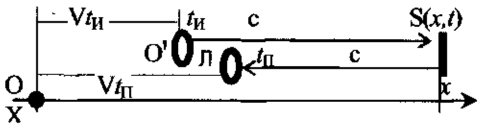
В шутку можно было бы сказать, что после 1975г. ИПЭ надо принять неизбежно: не нарушать же стандарты, если мы «законопослушные» физики. Но это была бы неуместная шутка. Ведь стандартизация скорости света – результат многих исследований, которые были проведены в рамках представлений ЭйнСТО о том, что постоянство скорости света во всех ИСО является физическим законом. Поэтому далее нам надо будет убедиться в том, что ИПЭ соответствует физическому закону. Это будет сделано в разделе 1.6. Будет также показано, что если бы скорость света не оказалась *физически* одинаковой во всех ИСО, а была введена только с помощью ИПЭ, то это могло порождать иллюзорные эффекты, несмотря на справедливость ПрЛ. Кроме того, немаловажным обстоятельством является то, что все эти результаты получены из измерений средней скорости света на пути «туда и обратно».

1.4. Преобразования Лоренца. Частные ситуации

В данном разделе получены преобразования координат события (преобразования Лоренца - ПрЛ) раздельно для (x, t) и для (y, z), а также некоторые следствия из них.

1.4.1 Активная локация события

Вывод ПрЛ для координат (x, t) события. Рисунок ниже с позиции ЭСО отражает процесс локации в K'-системе. Событие S



происходит на оси OX. Его координаты в ЭСО – (x,t). Скорость K'-системы относительно ЭСО равна V. Локатор **Л** K'-системы расположен в точке O' ее начала координат. Скорость светового сигнала относительно ЭСО равна <u>c</u> в обоих направлениях. Часы ЭСО и часы в O' выставлены в ноль в момент, когда точка O' совпадает с точкой O. В момент $t_И$ по часам ЭСО локатор излучает сигнал, который, отразившись от события S, принимается им в момент $t_П$. Надо по заданным координатам (x, t) события определить его координаты (x', t) в K'-системе. Образно говоря, мы, с одной стороны, остаемся в системе координат ЭСО, а, с другой стороны, переходим в K'-систему движущегося локатора.

Моменты $t_И$ и $t_П$ сигнала локации события по часам ЭСО определяются соотношениями:

- для прямого сигнала: $x\text{-}Vt_И=c(t\text{-}t_И)$; (1.23а)
- для отраженного сигнала: $x\text{-}Vt_П=c(t_П\text{-}t)$. (1.23б)

Из этих равенств можно найти $t_И$ и $t_П$:

$$t_И=(ct-x)/(c-V); \quad t_П=(ct+x)/(c+V). \qquad (1.23в)$$

В соответствии с (5а) постулата о часах, умножив $t_И$ и $t_П$ на χ_V, получим моменты времени $t^c_И$ и $t^c_П$ по часам K'-системы:

$$t^c_И=\chi_V(ct-x)/(c-V); \quad t^c_П=\chi_V(ct+x)/(c+V). \qquad (1.24)$$

Подставив $t^c_И$ и $t^c_П$ из (24) в (19,20), получим момент времени и местоположение события S с позиции K'-системы:

$$x'=c(t^c_П-t^c_И)/2=\chi_V(x-Vt)/(1-V^2/c^2); \qquad (1.25а_1)$$

$$t'=(t'_{П}+t'_{И})/2=\chi_V(t\text{-}Vx/c^2)/(1\text{-}V^2/c^2). \qquad (1.25а_2)$$

Откуда, подставив значение $\chi_V=(1\text{-}V^2/c^2)^{1/2}$, получим:

$$x'=\gamma_V(x\text{-}Vt);\ t'=\gamma_V(t\text{-}Vx/c^2),\ \text{где}\ \gamma_V=1/\chi_V=(1\text{-}V^2/c^2)^{-1/2}. \qquad (1.25б)$$

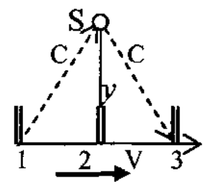
Здесь принято $x'=r'$ при $x\text{-}Vt\geq 0$ и $x'=-r'$ при $x\text{-}Vt<0$.

Из (25а) видно, что γ_V в (25б) является следствием наложением трех эффектов:

- *кинематического эффекта* (23в), который отражает кинематику движения сигнала локации в К'-системе с позиции ЭСО, т.е. классический переход от одной ИСО к другой;
- *хронофизического эффекта*, т.е. сокращение темпа хода часов при их движении относительно эфира (24);
- использования ИПЭ (25а).

Преобразование для координат y и z. В силу идентичности ситуаций для координат y и z ограничимся случаем, когда событие происходит в произвольный момент на оси ординат. Ордината события равна y с позиции ЭСО. Рассмотрим локацию этого события, выполняемую в движущейся К'-системе, с целью измерения его ординаты y'.

Рисунок ниже с позиции ЭСО отражает картину локации, выполняемую в К'-системе. Для этого установим локатор так, чтобы он был перпендикулярен оси O'X' в К' системе. Как отмечалось ранее, он при этом будет перпендикулярным и к OX. Вертикаль, определяющая ординату y в ЭСО, на рисунке неподвижна, а локатор перемещается.



Сигнал локатора с позиции ЭСО излучается в некоторый момент $t_И$ точке 1 и, отразившись от события S в точке 2, возвращается к локатору в точке 3 в момент $t_П$. Момент t должен быть таким, чтобы движение сигнала локации в К'-системе (с позиции локатора) происходило перпендикулярно оси абсцисс, т.е. вдоль оси трубы локатора. Проекция скорости светового сигнала на вертикальное направление оси Y с позиции ЭСО равна $(c^2\text{-}V^2)^{1/2}$. Тем самым, время движения сигнала локации по часам ЭСО составит $t_П\text{-}t_П=2y/c(1\text{-}V^2/c^2)^{1/2}$. Учтя темп хода движущихся К'-часов согласно (20), получим:

$$y'=\chi_V y/(1-V^2/c^2)^{1/2}. \qquad (1.26а)$$

Соответственно имеем преобразование для координат y и z:

$$y'=y,\ z'=z. \qquad (1.26б)$$

Так как это преобразование не зависит от скорости ИСО относительно ЭСО, то оно справедливо для любой пары ИСО.

Объединение преобразований для (x, t) и (y, z). Правомочность объединения частных преобразований (25б) и (26б) в качестве преобразования для общего случая (x, y, z ,t) не очевидна. Более того, может показаться, что это и неверно. В самом деле, при выводе преобразования (25) для (x, t) скорость света принималась равной $\underline{c}$, в то время как при $y\neq0$ она по направлению оси X уже не будет равна $\underline{c}$. Тем не менее, объединение (25б) и (26б) дает правильное преобразование. Это показано в подразделе 1.5.1.

Релятивность полученных преобразований. Соотношения (25б, 26б) на данном этапе рассуждений связывают координаты в движущейся K'-системе с координатами в ЭСО. Нас же интересует преобразование координат события от одной произвольной ИСО к другой.

Запишем соотношения (26а) в виде произведения матриц:

$$[x',t']=\mathbf{Lr}_V\bullet[x,t], \qquad (1.27а)$$

где $[x',t']$ и $[x,t]$ – вектор-столбцы, • - знак умножения матриц , а

$$\mathbf{Lr}_V=\gamma_V \begin{Vmatrix} 1 & -V \\ -V/c^2 & 1 \end{Vmatrix} \qquad (1.27б)$$

Нетрудно путем обращения матрицы убедиться в том, что $\mathbf{Lr}_V^{-1}=\mathbf{Lr}(-V)$, т.е. $\mathbf{Lr}(V)\bullet\mathbf{Lr}(-V)=\mathbf{E}$ – единичная диагональная матрица, и, тем самым,

$$[x,t]=\mathbf{Lr}(-V)\bullet[x',t'], \qquad (1.27в)$$

т.е. для перехода от координат события из K'-системы к координатам в ЭСО достаточно поменять знак скорости.

Матрица **Lr** обладает также следующим свойством:

$$\mathbf{Lr}(V_1)\bullet\mathbf{Lr}(v)=\mathbf{Lr}(V_2),\ \text{где}\ v=V_2\boxminus V_1. \qquad (1.28а)$$

Справедливость соотношения (28а) можно проверить путем прямых вычислений. При этом придется воспользоваться тождеством (11):

$$\chi(V_2)=\chi(V_1)\chi(v)/(1-V_1v/c^2), \text{ где } v=V_2\ominus V_1.$$

Пусть теперь известны координаты (x', t') события в K-системе, движущейся со скоростью V_1 относительно эфира, и требуется найти координаты (x'', t'') того же события в K″-системе, которая движется относительно эфира со скоростью V_2. Этот расчет можно выполнить следующим образом:

- сначала из (27в) найдем $[x, t]=\mathbf{Lr}(-V_1)\bullet[x', t']$;
- затем с помощью (27а) найдем $[x'', t'']=\mathbf{Lr}(V_2)\bullet[x, t]$.

Тем самым, с учетом (28а) получим:

$$[x'', t'']=\mathbf{Lr}(V_2)\bullet\mathbf{Lr}(-V_1)\bullet[x',t']=\mathbf{Lr}(v)\bullet[x',t'], \qquad (1.28б)$$

где $$v=V_2\ominus V_1=(V_2-V_1)/(1-V_2V_1/c^2). \qquad (1.28в)$$

Другими словами, для перехода от координат одной ИСО к другой нет необходимости знать их абсолютные скорости относительно эфира, а достаточно знать величину, которую при анализе эффекта Доплера назвали релятивистской относительной скоростью, и применить преобразования Лоренца по отношению к этой расчетной скорости:

$$x''=\gamma_v(x'-vt');\ t''=\gamma_v(t'-vx'/c^2).$$

Обычно две произвольные сопоставляемые ИСО обозначают как K и K':

$$x'=\gamma_v(x-vt);\ t'=\gamma_v(t-vx/c^2). \qquad (1.29)$$

Так как $\mathbf{Lr}(V_2)=\mathbf{Lr}(V_1)\bullet\mathbf{Lr}(v)$, где $V_2=V_1\oplus v$, где $\oplus$- групповая операция, то преобразование $\mathbf{Lr}(v)$ координат (x,t) события является группой с параметром v. Группой является и преобразование, дополненное преобразованием (26б) для y и z.

Таким образом, ИПЭ, являясь автономной процедурой, обеспечивает в условиях постулатов ЭфСТО групповые свойства преобразования координат событий.

1.4.2 Сложение скоростей

Преобразование скоростей. Скорость определяется как производная r-координат по времени. Так определенная скорость называется *координатной скоростью*. Пусть скорость K′-системы относительно K-системы равна v. Рассмотрим точку M, скорость которой относительно той же K-системы равна $\mathbf{u}$. Скорости v и $\mathbf{u}$

обе измерены в K-системе. Величина **u-v** имеет вполне определенный физический смысл – это скорость, с которой с позиции K-системы изменяется расстояние между движущейся точкой M и точкой, неподвижной в K'-системе. Ее называют также *скоростью сближения/удаления*. Скорость u' точки M относительно K'-системы нельзя измерить в K-системе, но ее можно измерить в K'-системе, причем она не будет равна **u-v**, так как в K'-системе другие масштабы. Вычислим скорость **u'** этой точки M относительно K'-системы.

Проекции скорости в этих двух ИСО таковы:

$$u'_x=dx'/dt';\ u'_y=dy'/dt';\ u'_z=dz'/dt';$$
$$u_x=dx/dt;\quad u_y=dy/dt;\ u_z=dz/dt.$$

Преобразования для координат возьмем в форме (25а) и (26а), в которых еще не произведено слияние кинематического и хронофизического эффектов (это нам далее пригодится). Непосредственным их дифференцированием получим:

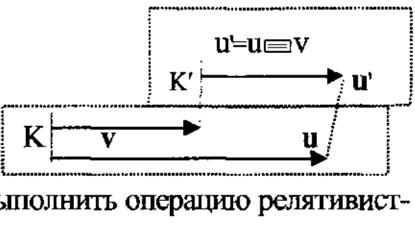
$$dx'=(dx-vdt)\chi_v/(1-V^2/c^2);\ dy'=\chi_v dy/(1-V^2/c^2)^{1/2};\ dz'=\chi_v dz/(1-V^2/c^2)^{1/2};$$
$$dt'=(dt-vdx/c^2)\chi_v/(1-V^2/c^2).$$

Отсюда путем деления координат на dt' находим

$$u'_x=(u_x-v)/(1-vu_x/c^2); \qquad (1.30а)$$
$$u'_y=u_y(1-v^2/c^2)^{1/2}/(1-vu_x/c^2);\ u'_z=u_z(1-v^2/c^2)^{1/2}/(1-vu_x/c^2); \qquad (1.30б)$$
$$(1-u'^2/c^2)^{1/2}=(1-v^2/c^2)^{1/2}(1-u^2/c^2)^{1/2}/(1-u_xv/c^2). \qquad (1.30в)$$

Тождество (30в) является обобщением тождества (11).

Для перехода от **u'** к **u** надо в этих формулах поменять место штриха и заменить v на –v, т.е. $u_x=(u'_x+v)/(1+vu'_x/c^2)$ и т.д.



На рисунке справа проиллюстрирован смысл формулы (30а). Здесь u и v измеримы в K, а u' в K'. Для расчета u' K' нужно выполнить операцию релятивистского вычитания u⊟v.

Из (30а, б, в) видно, что связь между **u'** и **u** не зависит от хронофизического эффекта, т.е. является следствием постулата о распространении света и ИПЭ.

Координатная и физическая скорости. Соотношение (30а) ранее было определено как расчетная скорость в эффекте Доплера. Тем самым, для случая движения точки по прямой от наблюдателя измерение координатной скорости даст тот же результат, что и измерение лучевой скорости методом Доплера. При этом продольный эффект Доплера определяется хронофизическим эффектом и не связан с ИПЭ, а формула для координатной скорости в направлении движения ИСО, наоборот, не связана с конкретной зависимостью замедления времени, но связана с ИПЭ. При этом эти величины равны. Это говорит о совместимости ИПЭ, а также о том, что координатная скорость приобретает смысл *физической скорости.*

1.4.3 Опыт Физо

Схема и результат опыта. Физо в 1851г выполнил опыт, который дает ответ на вопрос о том, как суммируется скорость света в воде со скоростью движущейся воды.

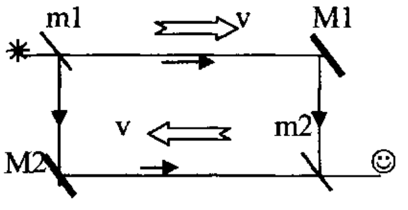


Схема опыта приведена слева. Световой сигнал от источника ✳ проходит к наблюдателю ☺ по двум путям, которые организованы с помощью полупрозрачных зеркал m1 и m2 и зеркал M1 и M2. На части пути длиной L между m1-M1 и равной ей части пути между m2-M2 световой сигнал проходит через воду. Сначала опыт выполняется при неподвижной воде. Наблюдаются полосы интерференции. Затем обеспечивается движение воды со скоростью v так, что направления ее движения на плечах m1-M1 и m2-M2 противоположны. Полосы интерференции сдвигаются, что позволяет для неподвижного наблюдателя установить связь между скоростью света u в неподвижной воде и ее скоростью u в воде, движущейся со скоростью v [5, с.76].

Задолго до опыта Физо Френелем была предложена модель частичного увлечения эфира, в соответствие с которой:

$$u=c_n+kv, \text{ где } k=1-1/n^2<1,\ c_n=c/n, \qquad (1.30г)$$

c_n - скорость света в среде с коэффициентом преломления *n*,

$k=1-1/n^2$ называется френелевским коэффициентом увлечения. Опыт Физо подтвердил эту формулу. Аналогичный опыт в 1887г повторил Майкельсон и подтвердил этот результат.

Достаточно нагляден вывод формулы Френеля в модели, которую позже предложил Стокс [10, с.139]. В этой модели эфир при входе в тело, имеющее вид цилиндра, расположенного в направлении его движения относительно эфира, сразу же сгущается, а при выходе из тела сразу разрежается. Этот древний подход является попыткой описать взаимодействие эфира с веществом. Но ЭйнСТО и ЭфСТО на него не опираются. Более того, ЭфСТО предполагает неувлекаемый эфир.

Интерпретация опыта в ЭйнСТО. В ЭйнСТО принимают, что скорость света относительно движущейся воды равна $u'=c/n$, которая для наблюдателя суммируется с его скоростью v воды по релятивистскому правилу сложения скоростей (30а): $u=(c/n+v)/(1+cv/nc^2)$, что приближенно дает формулу Френеля:

$$u \approx (c/n+v)(1-v/nc) \approx c/n+v(1-1/n^2). \qquad (1.30д)$$

Тем самым, в ЭйнСТО считается, что опыт Физо подтверждает релятивистский закон сложения скоростей.

Однако необходимо сделать два замечания в отношении применения к данному опыту формулы (30а) сложения скоростей:

1. Непонятно, на каком основании применяется здесь формула (30а), которая в ЭйнСТО выведена из постулата о постоянстве скорости света в вакууме. А здесь формула (30а) применяется так, как будто свет в воде эквивалентен частице, которая со скоростью $u'=c_n=c/n$ движется относительно пустой (без вещества) ИСО, в свою очередь движущейся в свою очередь со скоростью v относительно наблюдателя.

2. Если даже принять такую кинематику, то формула (30а) была бы справедлива в том случае, если бы источник сигнала плыл на плоту, оставаясь в воде неподвижным относительно воды, которая движется относительно наблюдателя. Однако реально в опыте источник неподвижен относительно приемника. В ЭйнСТО на этот счет замечают [24], что это не имеет значения, так как скорость света не зависит от скорости источника. Однако это обстоятельство изменяет логику измерительного процесса. В самом деле, если бы источник был неподвижен относительно движущейся

воды, то его частота на приемнике вследствие эффекта Доплера была бы другой, причем разной для направлений m1-M1-m2 и m1-M2-m2. Тем самым, при их сложении возникло бы биение частот, а не сдвиг полос интерференции. Реально же в опыте частоты сигналов, принимаемых от направления m1-M1-m2 и m1-M2-m2 равны, так как приемник и источник фактически неподвижны относительно друг друга, и, тем самым, измеряется не сдвиг частот, а сдвиг полос интерференции.

Из этих соображений мы сделаем следующий вывод:

две следующие схемы эксперимента физически эквивалентны:

а) измерение сдвига полос интерференции при неподвижном источнике и приемнике и движущейся воде;

б) измерение с помощью эффекта Доплера скорости источника, движущегося со скоростью v воды относительно неподвижного приемника, причем скорость света при этом равна c_n.

Интерпретация опыта в ЭфСТО. С позиции ЭфСТО молчаливое использование формулы сложения скоростей (30а) могло быть истолковано как использование формулы для координатных скоростей. Это означало бы, что реально наблюдаемый эффект является следствием лишь постулата о распространении света в эфире и ИПЭ. Но это выглядит неправдоподобно, так как в опыте трудно усмотреть связь результата опыта с определением скорости путем локации движущейся материальной точки. Поэтому при объяснении опыта надо опираться на физические предпосылки, каковым является эффект Доплера. Опираясь на сделанный выше вывод о физической эквивалентности фактической измерительной схемы и схемы эксперименты с источником, движущимся вместе с водой, можно утверждать, что формула (30а) здесь играет роль формулы (47б) сложения скоростей при эффекте Доплера. Таким образом, в ЭфСТО опыт Физо физически подтверждает релятивистское правило сложения скоростей через продольный эффект Доплера без необходимости апелляции к увлечению эфира движущимся прозрачным телом.

Однако ЭфСТО в отличие от ЭйнСТО не отвергает заведомо того, что рассматриваемый эффект, формально следующий из постулата о часах, может быть проявлением более глубокого механизма взаимодействии эфира, света и вещества, которые суммарно обосновывают результат этого эксперимента.

Возможна, например, следующая качественная точка зрения на механизм данного явления. Воду (среду) следует рассматривать как препятствия распространению света в вакууме (эфире). Свет не распространяется за счет светопроводящих сред, а лишь тормозится ими, поэтому увеличение скорости света в опыте Физо при его движении по направлению движения воды происходит не вследствие дополнительного движения носителей света, а вследствие частичного разрежения препятствий на его пути. Если среда начнет двигаться со скоростью света, то препятствия перестанут оказывать влияние на скорость света в этой среде. Следовательно, правила вычисления скорости света в среде должны быть таковыми, чтобы при движении среды со скоростью С скорость света в этой среде становилась бы равной С[1].

1.4.4 Измерения длины и положения стержня

Продольным будем называть стержень, расположенный параллельно вектору скорости его движения, а *поперечным* – перпендикулярно ей. *Истинная длина* – это длина, измеренная в ЭСО по засечкам концов стержня в один и тот же момент времени по часам ЭСО. *Собственной длиной* стержня, движущегося относительно эфира, будем называть результат измерения его длины локатором в той ИСО, в которой стержень неподвижен.

Продольный стержень. Рассмотрим локацию продольного стержня с истинной длиной, равной L. Пусть локатор совмещен с задним концом стержня и выполняет локацию его переднего конца. По часам ЭСО время движения сигнала к переднему концу стержня составит L/(c-V), а обратно L/(c+V), т.е. время локации по часам ЭСО равно t_{Π}=L/(c–V)+L/(c+V)=2L/c(1-V^2/c^2).
Учтя темп хода движущихся часов, получим из (20)

$$L^C/L=\chi_V c t_{\Pi}/2=\chi_V/(1-V^2/c^2), \qquad (1.31а)$$

т.е.

$$L^C/L=\gamma_V \qquad (1.31б)$$

---

[1] Вадим Жмудь. Эфир по Эйнштейну и эфир по Майкельсону. http://www.proza.ru/texts/2004/11/04-109.html

Собственная длина стержня больше, чем его истинная длина. *С позиции неподвижного наблюдателя длина движущегося стержня уменьшается.* Этот результат является следствием действия кинематического и хронофизического эффектов.

Соотношение (31б) непосредственно следует из (29) ПрЛ. В самом деле, началу и концу стержня в ЭСО соответствуют $x_н$=-Vt и $x_к$=L-Vt, тем самым, $L^C=x'_к-x'_н=\gamma_V(-Vt)-\gamma_V(L-Vt)=L\gamma_V$.
Из ПрЛ непосредственно ясно, что системы К и К' равноправны: идентичные ситуации, созданные в каждой из них (неподвижный стержень) порождают идентичные наблюдения в другой.

Поперечный стержень. Процесс локации поперечного стержня показан на рисунке слева с позиции ЭСО. Стержень и труба локатор движутся, будучи оба направленными вертикально с позиции ЭСО. При этом локатор расположен в нижней точке стержня и в момент $t_И$=0 выполняет локацию верхнего конца стержня. Время приема отраженного сигнала $t_П=2H/c(1-V^2/c^2)^{1/2}$. Тем самым, из (20) длина стержня, измеренная локатором,

$$H^C=\chi_V c t_П/2=H\chi_V/(1-V^2/c^2)^{1/2}, \qquad (1.31в)$$

откуда следует H^C=H. (1.31г)

Это изначально следует из ПрЛ, так как $y'=y$.

Аберрация угла наклона стержня. Рассмотрим, как соотносятся углы, определяющие положение стержня в ЭСО и в К'. Пусть в ЭСО стержень расположен в плоскости XY под углом θ к оси ОХ. Угол θ назовем *истинным углом наклона стержня.* Найдем оценку θ′ для этого угла, которую сделает К′-наблюдатель.

При измерении углов К′-наблюдатель поступает следующим образом. Он оценивает длины L^C и H^C катетов такого прямоугольного треугольника, которые параллельны осям ОХ′ и ОY′ и являются «катетами-опорами» стержня. Тем самым, для измеряемого угла $\mathbf{tg}\theta'=H^C/L^C$, а для истинного угла $\mathbf{tg}\theta$=H/L. Из соотношений (31б, г) имеем:

$$\mathbf{tg}\theta'=\chi_V\mathbf{tg}\theta. \qquad (1.32)$$

Полученный эффект назовем ***аберрацией наклона стержня***. Он является следствием перехода от одной системы отсчета к другой.

Чтобы выяснить, какова причина различия между θ' и θ, получим (32) из промежуточных формул (31а, в), в которых еще не произведено слияние хронофизического и кинематического эффектов:

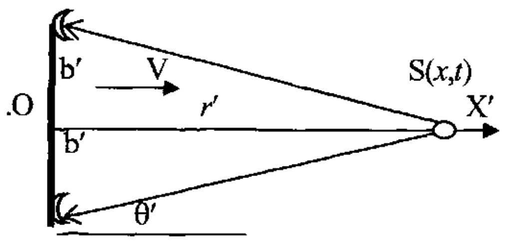
$$\mathbf{tg}\theta'=[H\chi_V/(1-V^2/c^2)^{1/2}]/[L\chi_V/(1-V^2/c^2)]=(1-V^2/c^2)^{1/2}\mathbf{tg}\theta.$$

Таким образом, величина эффекта не зависит от значения χ_V. Она является следствием использования процедуры ИПЭ и не связана с замедлением времени.

Заметим, что два направления, перпендикулярные в ЭСО ($\mathbf{tg}\theta=\infty$), будут перпендикулярными и в любой ИСО ($\mathbf{tg}\theta'=\infty$). Этим оправданы ранее сделанные предположения о параллельности осей Y' и Z' осям X и Y.

1.4.5 Пассивная локация события

Иногда событие само порождает световой сигнал. Его регистрацию будем называть *пассивной локацией*.



Рассмотрим частный случай, когда событие происходит на оси абсцисс K'-системы. «Наблюдатель» – это измерительный комплекс, который включает часы, две приемные антенны на базе, перпендикулярной оси X′ на равных расстояниях b от центра базы O′, и вычислитель. В этом случае известен момент τ приема сигнала о событии по часам K′-наблюдателя. Кроме того, есть принципиальная возможность оценить расстояние до события методом «бинокулярного зрения». Наблюдаемыми параметрами, таким образом, являются τ и θ'.

Будем считать, что длина базы измеряется активной локацией, т.е. в условиях действия постулата о часах: b=b'. Кроме того, примем следующие естественные соотношения для вычисления оценок координат события (x', t') через величины τ и θ':

$$\boxed{r'=b'/\mathbf{tg}\theta';\ t'=\tau-r'/c}.$$

Здесь соотношение для t' соответствует (22), чем обеспечивается совместимость методов активной и пассивной локации.

Задача, как ранее, том, чтобы выразить оценки (x', t') координат события в K'-системе через их координаты (x, t) в ЭСО.

Так как согласно (32) $\mathbf{tg}\theta'=\chi_V\mathbf{tg}\theta$, то с учетом, что в ИСО r=b/$\mathbf{tg}\theta$, получим $r'=r\gamma_V$. Если в соотношении $r'=r\gamma_V$ от расстояний перейти к координатам x и x', то получим ПрЛ для пространственной координаты: $x'=\gamma_V(x\text{-V}t)$.

Для $x>\text{V}t$ имеем $r'=x'$ и, тем самым, $t'=\tau'-x'/\text{c}$. Прием сигнала описывается соотношением (23б): $x\text{-V}t_П=\text{c}(t_П-t)$,

т.е. $\tau=t^{\varepsilon}{}_П=(\text{c}t+x)\chi_V/(\text{c+v})$. Воспользовавшись полученным выше преобразованием для x', получим ПрЛ для временной координаты $t'=\tau\text{-}x'/\text{c}= (\text{c}t+x)\chi_V/(\text{c+V})\text{-}(x\text{-V}t)\,/\text{c}\gamma_V=\gamma_V(t\text{-V}x/\text{c}^2)$.

Итак, получены преобразования Лоренца для пассивной локации для измерительной процедуры, совместимой с процедурой активной локации.

1.4.6 Аберрация

Аберрация скорости. Если вектор скорости **u** точки М лежит в плоскости OXY, то направление скорости в системах К и К' определяется как $\mathbf{tg}\theta=\text{u}_y/\text{u}_x$, $\mathbf{tg}\theta'=\text{u}'_y/\text{u}'_x$. С учетом (30б) имеем:

$$\mathbf{tg}\theta'=\chi_v\text{u}_y/(\text{u}_x\text{-v})=\chi_v\mathbf{u}\mathbf{sin}\theta/(\mathbf{u}\mathbf{cos}\theta\text{-v}). \qquad (1.33а)$$

Если принять u=c, то получим формулу аберрации света:

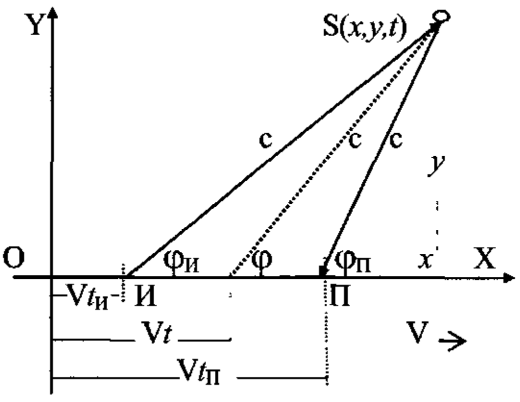
$$\mathbf{tg}\theta'=\chi_v\mathbf{sin}\theta/(\mathbf{cos}\theta\text{-v/c}). \qquad (1.33б)$$

Формулы (33) определяют различие наблюдаемого в двух ИСО направления движения произвольной точки М (при v=c - световая аберрация).

Необходимо различать аберрацию скорости (угол наклона траектории движения) и аберрацию положения стержня (и вообще ребер фигур), которая определяется соотношением (32). Как и сами скорости, аберрация скорости определяется только постулатом о распространении света и ИПЭ.

Локация события в плоскости XY. Без ограничения общности рассмотрим локацию события S в плоскости XY.

На рисунке слева изображено то, как этот процесс выглядит с позиции ЭСО. Локатор неподвижен в K'-системе и движется со скоростью V относительно эфира. Местоположения трубы локатора в момент излучения и приема сигнала локации обозначены как И и П. ИS –путь прямого сигнала, а SП - отраженного. Вдоль этих лучей свет распространяется в ЭСО со скоростью $\underline{c}$ в плоскости рисунка. Углы $\varphi_И$ и $\varphi_П$ характеризуют направления передающего и отраженного лучей с позиции ЭСО в тех точках пространства, в которых в моменты излучения и приема находится движущийся локатор. Они определяют так называемые *безаберрационные направления* излучения и приема сигнала. Пунктирная линия под углом φ проведена в точку, в которой локатор находился в момент самого события. Угол φ - это угол безаберрационного направления на событие в момент самого события.



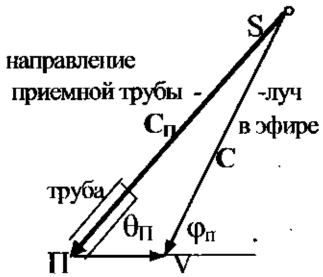
Из рисунка непосредственно имеем:

$$\sin\varphi_П = y/c(t_П - t);\ \cos\varphi_П = (x - Vt_П)/c(t_П - t); \qquad (1.34а)$$

$$\sin\varphi_И = y/c(t - t_И);\ \cos\varphi_И = (x - Vt_И)/c(t - t_И); \qquad (1.34б)$$

$$\mathrm{tg}\varphi = y/(x - Vt). \qquad (1.34в)$$

Однако в силу аберрации света направление приемной и передающей трубы движущегося локатора иные, чем безаберрационные направления. Приемная труба должна быть наклонена в сторону движения по отношению к направлению луча в эфире, а передающая – в противоположном. Этот нужно для того, чтобы световой сигнал перемещался по оси трубы локатора с учетом ее движения. Эти углы фактического наклона трубы локатора называют *аберрационными*. Безаберрационное направление локатор измерить не может. Ниже будет показано, что аберрационные углы наклона передающей и приемной трубы локатора равны φ.



На рис. слева для отраженного луча изображен треугольник, в котором **C** – вектор скорости света в эфире вдоль луча SП. $\mathbf{C_П}$ – это вектор скорости света относительно движущегося локатора. При этом $\mathbf{C_П=C\text{-}V}$ определяет фактическое положение приемной трубы с позиции ЭСО. Угол $\theta_П$ между осью OX и положением зрительной трубы называют *брадлеевским* углом. Аналогично можно рассмотреть передающий треугольник и связанный с ним брадлеевский угол $\theta_И$. Другими словами, для расчета углов $\theta_П$ и $\theta_И$ используется классический подход к суммированию скоростей – метод параллелограмма. Полагая, что в обоих случаях положительный угол измеряется от оси X к событию против часовой стрелки, из этих треугольников непосредственно получим:

$$\mathbf{tg}\theta_П=\mathbf{sin}\varphi_П/(\mathbf{cos}\varphi_П+V/c);\ \mathbf{tg}\theta_И=\mathbf{sin}\varphi_И/(\mathbf{cos}\varphi_И-V/c). \qquad (1.35а)$$

Подставив из (34) значения для синусов и косинусов углов $\varphi_П$ и $\varphi_И$ в (35а), после преобразований получим:

$$\theta_П=\theta_И=\varphi=\theta, \quad \text{и } \mathrm{tg}\theta=y/(x-Vt), \qquad (1.35б)$$

где θ - обозначение для общего значения углов $\theta_П$, и $\theta_И$ и φ.
Соотношения (35а, б) – это формулы классической аберрации.
Соотношение (35б) означает, что

углы наклона приемной и передающей трубы локатора совпадают и определяют *истинное* направление на событие в момент самого события.

Однако ввиду аберрации измеряемого наклона трубы K′-наблюдатель измерит не брадлеевский угол θ, а угол θ', отличающийся от θ. Тем самым, из (32) и (35а) имеем

$$\mathbf{tg}\theta'=\chi_V\mathbf{sin}\varphi_П/(\mathbf{cos}\varphi_П+V/c). \qquad (1.36а)$$

а из (32) и (35а)

$\mathrm{tg}\theta'=y/x'$, где $x'=\gamma_V(x\text{-}Vt)$, (1.36б)

Вывод (36а) показывает, что

аберрация света представляет собой сумму эффекта классической аберрации и эффекта аберрации наклона стержня.

Если же мы имеем дело не с активной локацией события, а само событие является источником сигнала, то (36а) будет также справедливо, поскольку моментом события по определению считается момент отражения сигнала от носителя события.

Релятивность аберрации. В соотношении (36) угол φ_Π задан в ЭСО, а θ' - в K'-системе. Пусть теперь в системах K и K' происходит прием светового луча, который имеет фиксированное направление φ_Π в эфире. Наблюдатели этих СО движутся параллельно со скоростями V_1 и V_2 относительно эфира и в момент встречи луча принимают сигнал под углами θ' и θ соответственно. Найдем, как связаны между собой эти θ' и θ. Запишем (36а) отдельно для K'-наблюдателя (θ' для угла и вместо V значение V_2), и K-наблюдателя (вместо V значение V_2, а вместо θ' значение θ), получим два равенства, причем в обоих равенствах φ_Π одно и то же. Исключив φ_Π из этих двух равенств, получим:

$$\mathrm{tg}\theta'=\chi_v\sin\theta/(\cos\theta\text{-}v/c),\text{ где } v=V_2\ominus V_1. \qquad (1.37)$$

Таким образом, аберрация обладает *свойством релятивности*:

с позиции аберрационного эффекта любого из наблюдателей светового луча можно считать как бы неподвижным относительно эфира, а остальных наблюдателей – движущимися относительно первого с относительными (релятивистскими) скоростями. Тем самым, явление аберрации не позволяет обнаружить абсолютное движение путем измерения направления на звезду.

Формула (37) известна в СТО как (релятивистская) формула аберрации. Ранее она получена из ПрЛ – (33б). Можно сказать, что ИПЭ релятивирует классическую аберрацию.

При v/c<<1 из (37) можно получить следующую известную упрощенную формулу для аберрации света:

$$\theta'\text{-}\theta=(v/c)\sin\theta'. \qquad (1.38)$$

Звездная аберрация. Формула (37) по содержанию ее вывода никак не учитывает фактическое движение источника. Речь идет только о том, что измеряемое в разных ИСО направление светового луча зависит только от относительной релятивистской скорости сопоставляемых ИСО (наблюдателей). Эйнштейн, в частности, в работе 1907г («О принципе относительности и его следствиях») указывал, что формула для аберрации относится к бесконечно удаленному источнику света.

> Аберрация является подтверждением того, что скорость света не зависит от движения источника.

Некоторые сторонники эфира для оправдания независимости аберрации от движения звезды выдвигают гипотезу о том, что суммирование скорости света со скоростью Земли якобы «происходит не при входе луча света в пространство трубы телескопа, а раньше, при входе в пространство эфира, движущегося вместе с Землей» [16]. Но в этом нет надобности.

Вследствие того, что все звезды достаточно удалены, положение светового луча от каждой звезды до наблюдателя на Земле практически не изменяется за длительные периоды времени и практически не зависит о положения Земли на орбите. Параллакс, т.е. угловая разница безаберрационных направлений на звезду при измерении из диаметрально противоположных точек орбиты Земли, за редкими исключениями очень мал. Только для ближайших звезд возможно измерение параллакса, что позволяет оценить расстояние до них. Величина аберрации превосходит параллаксы.

Заметим, что точность измерений не позволяет проверить релятивистские формулы аберрации. Практически используются формулы классической аберрации. Формула (37) дает изменение $\Delta\theta=\theta'-\theta$ аберрации, вызванное изменением скорости Земли на ее орбите. Величина $\Delta\theta$ в диаметрально противоположных точках орбиты, называется *годовой аберрацией* и определяется при $v=2V_3$, где V_3 - орбитальная скорость Земли вокруг Солнца.

1.5. Преобразования Лоренца. Общий случай

Выше ПрЛ получены путем раздельного их вывода для координат (x,t) и для координат (y,z) события, правомерность чего не очевидна.

Ниже выполнен строгий вывод ПрЛ для общего случая координат (x,y,z,t) события. Также показана инвариантность пространственно-временного интервала и проанализированы другие эффекты.

1.5.1 Полный вывод ПрЛ. Интервал

Инварианты события. Снова рассмотреть процесс локации события в плоскости OXY, изображенный на первом рисунке предыдущего подраздела. Теперь внимание будет обращено не на геометрию этого процесса, а на преобразование координат при переходе от одной ИСО к другой. Из треугольников ПSx и ИSx следуют соотношения, связывающие моменты передачи и приема сигнала локации по часам ЭСО:

$$(x-Vt_И)^2+y^2=c^2(t-t_И)^2;\quad (x-Vt_П)^2+y^2=c^2(t_П-t)^2.$$

Откуда выразим $t_П$ и $t_И$ и перейдем к показаниям часов движущегося локатора, т.е. учтем $t^c_П=\chi_V t_П$ и $t^c_И=\chi_V t_И$:

$$t^{c\,2}_П-2pt^c_П+q=0\,,\quad t^{c\,2}_И-2pt^c_И+q=0, \qquad (1.39а)$$

где $\quad p=\gamma_V(t-Vx/c^2),\ q=t^2-r^2/c^2$, где $r^2=x^2+y^2$. (1.39б)

Уравнения (39а, б) для обоих переменных $t^c_П$ и $t^c_И$ идентичны, поэтому $t^c_П$ и $t^c_И$ являются корнями одного и того же квадратного уравнения и, тем самым, связаны формулами Виета:

$$t^c_П t^c_И=q\ \Rightarrow\ c^2t^c_П t^c_И=c^2t^2-r^2; \qquad (1.39в)$$

$$(t^c_П+t^c_И)/2=p=\gamma_V(t-Vx/c^2). \qquad (1.39г)$$

Т.к. $t^c_П t^c_И$ не зависит от скорости V, то из (39в) следует, что значение $t^c_П t^c_И$ инвариантно относительно выбора ИСО, в которой производится локация события:

$$\boxed{c^2t^c_П t^c_И=\mathrm{inv}=c^2t^2-r^2.} \qquad (1.40а)$$

Заметим, что этот инвариант не связан с каким-либо способом вычисления координат (x', y', t') события в ИСО через $t^c_П$ и $t^c_И$, т.е. не зависит от выбора координатной сетки для пространственных координат в K'-системе.

Из тождества $c^2[(t^c_П+t^c_И)/2]^2-[c(t^c_П-t^c_И)/2]^2=c^2t^c_П t^c_И$ и инварианта (40а) с учетом (19,20) следует такой инвариант:

$$\boxed{J=c^2t'^2-r'^2=c^2t^2-r^2=\mathrm{inv}(V)=c^2t^c_П t^c_И,\ \text{где } r^2=x^2+y^2.} \qquad (1.40б)$$

Этот инвариант придает новый смысл соотношениям (19,20):

ИПЭ объединяет пространственные координаты и время в единую конструкцию J, которая является инвариантом, т.е. во всех ИСО имеет одно и то же значение, что и в ЭСО. Существенно, что инвариантность интервала отражает свойство измерений координат события на пути «до него и обратно».

Инварианты (40) обязаны специфическому выражению χ_V для коэффициента в постулате о часах, который автоматически (без технической настройки часов) вводит фактор сокращения темпа хода часов. Этот фактор нельзя было бы отнести к самой измерительной процедуре, так как при этом она не была бы автономной.

Преобразование координат события. Соотношение (39г) показывает, что время t' в K'-системе, определенное как (19), зависит не от расстояния до события, а только от координаты x:

$$t'=\gamma_V(t-Vx/c^2), \qquad (1.41а)$$

которое было ранее получено как (24) при выводе преобразования для (x, t) при $y=z=0$. Здесь видна его справедливость для произвольных значений y и z.

Теперь рассмотрим, как связаны пространственные координаты x' и y' события с его координатами (x,y,t). Из (39а) имеем $t^c_П=p+\sqrt{(p^2-q)}$, $t^c_И=p-\sqrt{(p^2-q)}$. Откуда из (20) и с учетом (39б) имеем

$$r'^2=[\gamma_V(x-Vt)]^2+y^2=x^{*2}+y^2, \text{ где } x^*=\gamma_V(x-Vt). \qquad (1.41б)$$

Так как пространство ИСО предполагается евклидовым, то

$$r'^2=x'^2+y'^2=x^{*2}+y^2, \text{ где } x^*=\gamma_V(x-Vt). \qquad (1.42)$$

Заметим, что при выводе (41б) и (42) не учитывалось положение осей координат X'Y' относительно XY, так как не рассматривались координаты x' и y', а только расстояние r'. Так для базового семейства ИСО оси X и X' всех ИСО совпадают, то при $y'=y=0$ из (42) имеем $x'=x^*$. Приняв $x'=x^*$, получим $y'=y$. Тем самым, искомым преобразованием является следующее:

$$\boxed{x'=\gamma_V(x-Vt);\ t'=\gamma_V(t-Vx/c^2);\ y'=y;\ z'=z.} \qquad (1.43)$$

Линейные преобразования (43) связывают измерения координат события в K'-системе с их значениями в ЭСО. Однако, как было показано в подразделе 1.4.1, преобразования (43) в силу своих групповых свойств применимы для любой пары ИСО, если V заменить скоростью v K'-системы относительно K:

$$\boxed{x'=\gamma_V(x-vt);\ t'=\gamma_V(t-vx/c^2);\ y'=y;\ z'=z.} \qquad (1.44)$$

Это и есть ПрЛ. Обратные преобразования получаются путем замены мест штрихов при координатах события и знака при v.

Важно понимать, что инвариантность J означает, что все координаты события могут принимать свои значения независимо друг от друга, т.к. любая комбинация их возможна. При этом инвариантность J получена без опоры на ПрЛ. Тем самым, правомочно объединять результаты, полученные независимо для преобразований (x, t) и (y, z).

В ЭйнСТО на этот счет имеются проблемы (см. раздел 2.2).

Пространственно-временной интервал. Опираясь на выражение в (40б) для инварианта J события можно ввести *понятие пространственно-временного интервала* между двумя событиями s (для краткости – *интервал*):

$$s^2=c^2(t_2-t_1)^2-(x_2-x_1)^2-(y_2-y_1)^2-(z_2-z_1)^2=\mathrm{inv}(v) \qquad (1.45а)$$

Интервал является инвариантом в силу линейности ПрЛ. Это можно непосредственно проверить, если записать s'^2 как (45а), но со штрихами, и выразить штрихованные величины через нештрихованные с помощью (44).

В дифференциальной форме (45а) принимает вид:

$$ds^2=c^2dt^2-dx^2-dy^2-dz^2=\mathrm{inv}(v). \qquad (1.45б)$$

Типы интервалов. Знак интервала является инвариантом. Поэтому различают три типа интервалов:

1) $s^2=0$ – *светоподобный* (нулевой) *интервал.* Два события такого интервала связаны так, как связаны события излучения светового сигнала источником и его приема приемником. Локация каждого события, для которого J=0, начинается при $t_И=0$;

2) $s^2>0$ - *времениподобный интервал* (мнимое s). Между двумя событиями такого интервала может существовать причинная связь. При этом можно выбрать такую ИСО, что оба события происходят в одной точке ее пространства, но в разные моменты времени, и не существует такой ИСО, в которой оба события происходили бы в

один момент времени. Любые события, относящиеся к одной и той же материальной точке, связаны времениподобным интервалом. При локации события, для которого J>0, $t_И$ и $t_П$ имеют один и тот же знак, в зависимости от которого событие однозначно относится к прошлому или будущему;

3) $s^2<0$ - *пространственноподобный интервал.* Для двух событий этого типа можно выбрать такую систему отсчета, в которой они происходят одновременно, но в разных точках пространства. При этом не существует такой ИСО, в которой оба события происходили бы в одной точке пространства. Между такими событиями не может быть причинной связи. Локация события такого типа всегда начинается при $t_И<0$ и завершается при $t_П>0$. Тем самым, по измеренным локатором значениям $t_И$ и $t_П$ такое событие нельзя отнести ни к прошлому, ни к будущему.

Если события находятся в причинной связи, то интервал между ними нулевой или времениподобный.

1.5.2 Относительность одновременности

Рассмотрим синхронизацию часов методом локации. В каждой ИСО синхронизация часов выполняется независимо от таковой в других ИСО. Сопоставим показания часов в двух ИСО. Если в K-системе в некоторый момент происходят два события в разных точках x_1 и x_2, то в K′-системе согласно (44) $t'_1=\gamma_v(t\text{-}vx_1/c^2)$ и $t'_2=\gamma_v(t-vx_2/c^2)$. Если события одновременны в K-системе ($t_2=t_1$), то

$$t'_2\text{-}t'_1=\text{-}\gamma_v(x_2\text{-}x_1)v/c^2 \qquad (1.46)$$

Таким образом, события, одновременные в K-системе, имеют временной сдвиг в K′-системе, равный $\text{-}\gamma_v\Delta xv/c^2$, где $\Delta=x_2\text{-}x_1$.

Здесь v - релятивистская относительная скорость двух сопоставляемых ИСО. Таким образом,

в $ИСО_2$, движущейся со скоростью **v** относительно "неподвижной» $ИСО_1$, имеется по отношению к $ИСО_1$ *сдвиг местного времени,* зависящий от скорости и абсциссы *x* движущихся часов в неподвижной ИСО (не зависит от их ординаты).

Этот сдвиг появится у часов при синхронизации с помощью ИПЭ.

В подразделе 1.1.2 была рассмотрена синхронизация часов путем их медленного переноса из точки начала отсчета в точку с абсциссой x. При этом в движущейся ИСО появляется такой же по величине сдвиг показаний перемещенных часов по отношению к часам ЭСО (5в): $t^*_R - t^*_O = -\gamma_v x v/c^2$

Этот эффект при $\gamma_v=1$ подобен сдвигу времени, который имеют пассажиры на самолете при сопоставлении показаний своих часов с местным временем в пролетаемых пунктах.

Таким образом, два события, одновременные в некоторой ИСО, будут не одновременны тогда (и только тогда), когда их x-координаты не совпадают. С позиции K-системы в K'-системе имеет место анизотропия времени – зависимость сдвига показаний часов от их местоположения относительно начала отсчета. Эффект нельзя наблюдать собственными средствами движущейся K'-системы, так как его нельзя обнаружить ни путем локации, ни путем медленного переноса часов.

Относительность одновременности является *физическим свойством наблюдений в разных ИСО*, а не иллюзией, связанной с использованием ИПЭ. ИПЭ в этом плане адекватна медленному переносу часов в условиях двух постулатов. При больших скоростях переноса эта адекватность нарушается.

1.5.3 Пассивное и активное замедление времени

Соотношение для значений промежутков времени между двумя времениподобными ($s^2>0$) конкретными событиями, измеренными в двух ИСО, называют его *пассивным преобразованием промежутка времени.* Соотношение между промежутками времени двух часов, вначале неподвижных в одной ИСО, после того, как другие часы были перенесены в другую ИСО, называется *активным преобразованием.*

Пассивное преобразование промежутка времени.

А. Два события в одной точке пространства заданной ИСО. В случае $s^2>0$ всегда существует система отсчета, в которой два события происходят в одной точке, поэтому такие два события можно приписать некоторому Л-процессу и связанными с ним часами. Пусть с неподвижными в К'-системе часами связаны два события. При этом $x'_1=x'_2$. В К-системе им соответствуют разные x'_1 и x'_2. Обозначим:

$\Delta t^C=t'_2-t'_1$ - собственное время между событиями (в К');

$\Delta t^B=t_2-t_1$ - промежуток времени между событиями в К-системе, которая является внешней по отношению к движущимся часам.

Из ПрЛ (44) с учетом $x'_1=x'_2$ имеем:

$$\text{а) } \Delta t^B=\gamma_v\Delta t^c \quad \text{или б) } \Delta t^c=\chi_v\Delta t^B\,. \tag{1.47}$$

Этот результат также непосредственно следует из постулата о часах в силу принципа релятивности. При этом:

а) две ИСО, движущиеся относительно друг друга, имеют разные темпы хода часов с позиции ЭСО;

б) эти ИСО имеют разный сдвиг местного времени относительно часов ЭСО (относительность одновременности);

в) эти два факторы складываются так, что дают (47).

Рассмотрим этот же вопрос с позиции инвариантности интервала. Запишем (45а) для систем К и К' в рассматриваемой выше ситуации. Так как $\Delta x'=0$, то $s^2=c^2\Delta t'^2=\text{inv}(v)$, т.е. интервал выражается через собственное время между событиями. Это означает, что (47) можно записать в виде:

$$\boxed{\Delta t^c=\chi_v\Delta t^B=\text{inv}(v).} \tag{1.48}$$

Собственное значение является инвариантом для заданной пары событий и равно наименьшему значению Δt^B на множестве всех внешних ИСО.

Что означает инвариантность Δt^c? В учебниках по СТО пишут, что «это вполне естественно, потому что собственное время измеряется по показаниям часов, связанных с движущейся точкой, и не имеет значения, в какой системе координат эти показания считывать» [5, с.95]. Это, конечно, так, но звучит как-то «банально». С позиции ЭфСТО инвариантность собственного времени можно трактовать так, что *в каждой конкретной ИСО темп хода часов есть некоторая своя конкретная величина*, определяемая их скоростью относительно эфира независимо от внешних наблюдателей.

Б. <u>Два события в разных точках пространства указанной ИСО</u>. Пусть (t_1, x_1) и (t_2, x_2) – координаты событий в K, а (t'_1, x'_1) и (t'_2, x'_2) - они же в K', причем $x'_1 \neq x'_2$. Обозначим $\Delta t'=t'_2-t'_1$, $\Delta t=t_2-t_1$, $\Delta x'=x'_2-x'_1$ и $\Delta x=x_2-x_1$. Эту ситуацию можно представить так, как если бы в K-системе событие 1 вызвало процесс со скоростью $w=\Delta x/\Delta t$, который в момент t_2 вызвал событие 2. В K'-системе скорость этого процесса $w'=\Delta x'/\Delta t'$. Из ПрЛ следуют соотношения:

$$\Delta t'/\Delta t=\gamma_v(1-vw/c^2),\ \ \Delta x'/\Delta x=\gamma_v(1-v/w). \qquad (1.49)$$

Это соотношение справедливо при любых w/c, т.е. для любых типов интервалов [2, с.52], так что они нам потребуются и далее.

Здесь рассмотрим случай двух времениподобных событий ($s^2>0$). Для них $w/c<1$. В зависимости от $\gamma_v(1-vw/c^2)$ имеем

$$[\Delta t'/\Delta t>1 \text{ при } wv/c^2>1-\chi_v] \text{ и } [\Delta t'/\Delta t<1 \text{ при } wv/c^2<1-\chi_v].$$

Таким образом,

> соотношение для промежутков времени в двух ИСО может быть больше, меньше или равно 1.

В частности, для эффекта Доплера w=c. Поэтому

$$\Delta t'/\Delta t=[(1-v/c)(1+v/c)]^{1/2},$$

т.е. $\Delta t'/\Delta t<1$ при $v>0$ и $wv/c^2<1-\chi_v$ $t'/\Delta t>1$ при $v<0$.

Важно, что из (49) следует, что среди множества штрихованных систем существует единственная система, для которой v=w, так что $\Delta x'=0$ и $\Delta t'/\Delta t=\chi_v$. Заметим, что ввиду $\Delta x'=0$ здесь K' – собственная ИСО часов и в ней $\Delta t'$-собственное время, т.е. $\Delta t^C=\chi_v\Delta t^B$, что совпадает с (47).

Активное преобразование темпа хода часов. Пусть часы движутся относительно K-системы с переменной во времени скоростью $u(t)$. В момент t на малый промежуток времени dt с этими часами можно связать сопутствующую K'-систему, в которой собственное время часов за промежуток dt составит

$$dt^c=\chi_u dt=\mathrm{inv}(u). \qquad (1.50a)$$

Это следует из (48), а также из возможности при постулированной независимости темпа хода часов от ускорения рассматривать сопутствующую систему при переменном u(t). Такое преобразование будем называть *активным*, т.к. заменяется не наблюдатель, а сам процесс. Активное преобразование, таким образом, оказывается адекватным пассивному.

Интегрируя (50а) от t_1 до t_2 по часам К-системы, получим значение собственного времени движущихся часов:

$$t^c_{21}=\int_{(t_1,t_2)}\chi(v)dt \qquad (1.50б)$$

Это корректно, так как в силу независимости dt^c от внешней ИСО все интервалы dt^c можно вычислять в одной и той же внешней К-системе.

Результат (50б) не является неожиданным, так как является проявлением принципа релятивности в отношении к интегральной форме (5) постулата о часах.

Так как $\chi_v<1$, то из (50) следует, что $t^c_{21}<t_2-t_1$. Если двое часов, начав совместное движение из общей точки пространства любой ИСО, опишут замкнутые кривые и встретятся, то их показания можно будет непосредственно сопоставить. Если одни из них были неподвижны, то при встрече выяснится, что движущиеся часы отстали от «неподвижных».

Об обратимости замедления времени. Замедление времени для пассивного преобразования в учебниках по СТО формулируют обычно так: «темп хода движущихся часов замедлен относительно неподвижных» [5, с.94], что отражает как бы логику активного преобразования. Однако в отношении пассивного преобразования она,

во-первых, не отражает несимметрию двух ИСО (сопоставляются показания одних движущихся часов с двумя синхронизованными между собой неподвижными часами),

во-вторых, она не отражает обратимость эффекта [2, с.56], заключающуюся в том, что каждая из пары заданных ИСО может быть принята неподвижной.

Формулировка для пассивного преобразования должна явно отражать свойство обратимости замедления времени, т.е. должна опираться на (47,а) и (48):

промежуток времени t^B, измеренный в ИСО, внешней по отношению к собственной ИСО часов, увеличен по сравнению с их инвариантным собственным временем.

Парадокс близнецов. Брат-путешественник (П-брат) в силу (51) при встрече окажется моложе брата-домоседа (Д-брат).

Пусть П-брат движется в течение некоторого времени с постоянной скоростью в одном направлении, а затем с постоянной скоростью обратно. Если дом братьев неподвижен относительно эфира, то результат очевиден. Если же ИСО, в которой находится дом братьев, движется относительно эфира с некоторой скоростью, то формула (50) дает решение задачи, если в качестве скорости П-брата использовать его релятивистскую скорость относительно Д-брата.

ЭйнСТО настаивает на равноправии инерциальных систем и одинаковости темпа хода часов в каждой ИСО (подробнее см. раздел 2.1), так что возникает впечатление беспричинности этого эффекта. Однако равноправие систем, декларируемое в ЭйнСТО, содержит в себе скрытое фактическое различие темпа хода часов, движущихся относительно друг друга. Но в ЭйнСТО, ориентирующейся на пустое пространство, нет средств (понятий), чтобы в соотношении (51) увидеть *скрытое абсолютное движение* (см. раздел 2.4).

Оживленные дискуссии о парадоксе близнецов были в 50-тых годах, затем в конце 60-х годов [9]. Литературы по вопросу о парадоксе близнецов тьма. Но и в наши дни скептики не перевелись [16, с.91]. Большой набор таких мысленных экспериментов, ставящих целью «уличить» ЭйнСТО приведен в [22].

С позиции ЭфСТО тут нет и следа парадоксальности. Причиной эффекта является эфирный ветер, который замедляет темп хода процессов. И мы, как говорил Дингл, не дадим «задурить себе голову математикой».

1.5.4 Изотропность световой волны

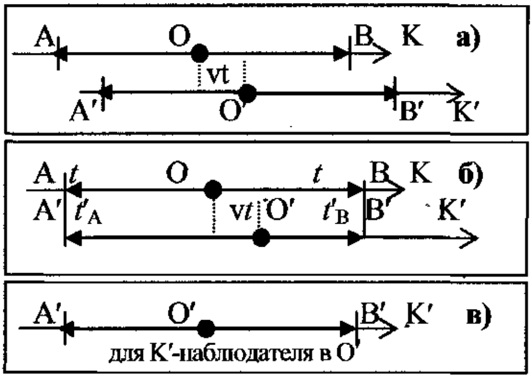
Изотропность световой волны во всех ИСО. В частном случае из инварианта (40б) при J=0 имеем:

$$c^2(t')^2-(r')^2=0 \Leftrightarrow c^2(t')^2-(r')^2=0$$

Это соотношение говорит о следующем. Если в некоторый момент $t=t'=0$, когда точки начала координат систем K и K' совпадали, источник в этой точке породил световую волну, то в обоих

ИСО распространяется сферический фронт волны. Другими словами, одна и та же световая волна изотропна во всех ИСО.

В ЭйнСТО, где исходно постулируется постоянство скорости света во всех ИСО, может возникнуть ошибочное представление, показанное ниже на рис. «а». Здесь K-система считается неподвижной; в ней фронт волны достиг точек A и B. Через время t точка O′ из K′ переместится на vt.



Может показаться, что в силу требуемого равенства скорости света в обоих направлениях также в K'-системе фронт волны достигнет точек A' и B', сдвинутых на vt. Это означало бы, что одна и та же волна достигла одновременно разных точек физического пространства, что ЭйнСТО не допускает.

Правильно ситуация *с позиции K-системы* изображена на рис. «б». Верхний и нижний части этого рисунка «б» изображены с позиции масштабов неподвижной K-системы для момента t. При этом точки фронта волны в момент t по K-часам будут те же, что для A и B, так как распространение света не зависит от движения источника, но точка O' сместится на vt. При этом с позиции K-системы в момент t: $x_П=ct$ и $x_Л=-ct$. Но в K'-системе по ее масштабам моменту t соответствуют $x'_П=\gamma ct(1\text{-}v/c)$ и $x'_Л=-\gamma ct(1+v/c)$, т.е. симметрия в K'-системе с позиции K-системы нарушена. Однако в K'-системе по ее собственным масштабам времени и с учетом эффекта относительности одновременности *событиям* A и B соответствуют разные моменты времени (относительность одновременности): $t'_П=\gamma t(1-v/c)$ и $t'_Л=\gamma t(1+v/c)$. Ввиду $t'_П\neq t'_Л$ с позиции K'-системы моменты достижения световыми сигналами точек A' и B' не принадлежат одному и тому же фронту волны, но при этом расчетная скорость света в обоих направлениях в K′-системе оказывается по модулю одна и та же: $x'_П/t'_П = -x'_Л/t'_Л = c$. А это означает, что наблюдатель в K′-системе (рис «в») также оценивает распространение волны как сферическое, хотя *в движущейся ИСО сферическая волна состоит из элементов волны неподвижной ИСО, излученных в разное время.*

Иллюзорна ли изотропность световой волны? С позиции ЭфСТО «истинная» картина имеет место в ЭСО, где расстояния и время являются *истинными* (рис «а»). При этом скорость света с позии ЭСО скорость света различна в разных направлениях. Постоянство скорости света в любом направлении во всех ИСО возникает вследствие того, что наблюдателю предписано производить арифметизацию пространства в своей ИСО своими средствми, т.е. с помощью ИПЭ или с помощью часов, синхронизованных медленным переносом.

Эффект не связан с постулатом о часах (не зависит от вида функции γ), т.е. предопределен только ИПЭ.

Если для измерений расстояний и моментов времени в воздушной среде использовать ультразвуковую локацию и соотношения (19,20), то, несмотря на то, что в воздухе нет замедления времени, все равно будет выполняться постулат «постоянства скорости звука», хотя ПрЛ при этом не применимы.

Это означает, что в рамках двух сформулированных постулатов постоянство скорости света в разных направлениях в отличие от ЭйнСТО, где оно исходно постулируется, может быть на данном этапе нашего анализа воспринято как иллюзия, так как оно однозначно следует лишь из принятой процедуры арифметизации пространства-времени.

1.5.5 Относительность событийной кинематики

Событийная относительность. Из изложенного выше видно, что преобразование Лоренца (44) в пространстве событий определяет группу с одним параметром (относительная скорость систем отсчета), который при последовательном применении преобразования Лоренца преобразуется с помощью групповой операции ⊕. Релятивность - это другая сторона групповых свойств преобразования Лоренца. Акцентирование на релятивности показывает, что

> использование релятивистской относительной скорости позволяет любую ИСО рассматривать как неподвижную систему отсчета, которая по своим свойствам адекватна ЭСО.

Вопрос о том, какая из систем неподвижна, а какая движется, становится относительным. Релятивность, тем самым, также означает *обратимость* ИСО.

Когда Г. Лоренц впервые в 1904 году получил свои преобразования, то он не заметил их групповые свойства. В 1914г он писал: «Я…полагал, что между системами (x,y,z,t) и (x',y',z',t') имеется существенная разница. В одной использованы…оси координат, имеющие определенное положение в эфире, и то, что можно было назвать истинное время; в другой системе, наоборот, мы имеем просто вспомогательные величины, вводимые с помощью математического ухищрения…».

Групповые свойства преобразований установил Пуанкаре, но и он явно не отметил обратимость релятивистских эффектов. На это впервые явно указал А. Эйнштейн в работе 1905г.

Назовем *явлениями событийной кинематики* такие явления, для описания закономерностей которых достаточно оперировать только событиями и скоростями материальных точек; при этом понятия связанные кинематикой тел и с динамикой движения (силы, напряженности полей и т.п.) не привлекаются. Релятивность, вытекающая из постулатов ЭфСТО, позволяет строго трактовать ее только как *принцип относительности событийной кинематики*: такие явления не позволяют выявить движение системы относительно эфира. Это также означает, что законы природы для явлений событийной кинематики могут быть записаны в форминвариантной форме, т.е. такой форме, которая не изменяется при переходе от одной ИСО к другой. Чтобы проверить форминвариантность закона, необходимо использовать ПрЛ для событий и преобразования (30) для скоростей.

Столкновения. Хорошим примером для иллюстрации форминвариантности являются закон сохранения энергии-импульса при столкновениях. Энергия частицы определяется как $E=\gamma_u m_0 c^2$, а импульс как $\mathbf{p}=\gamma_u m_0 \mathbf{u}$, где m_0 – масса покоя частицы, $\mathbf{u}$ - ее скорость. Закон сохранения: если совокупность частиц, участвующих в столкновении, является изолированной системой, то общая энергия частиц и их суммарный импульс сохраняются:

$$_i\Sigma \mathbf{p}_{\text{д}i} = {}_j\Sigma \mathbf{p}_{\text{п}j}; \qquad {}_i\Sigma E_{\text{д}i} = {}_j\Sigma E_{\text{п}j},$$

где «д» - значения до столкновения, «п» - после столкновения. Числа частиц «до» и «после» могут не совпадать.

В форминвариантности этой *пары* соотношений (а не каждого отдельно) можно убедиться прямыми вычислениями.

Фундаментальные законы природы являются в основном динамическими, т.е. в них фигурируют силы, напряженности полей и другие некинематические величины (потенциалы и т.п.). В отношении таких динамических законов постулаты ЭфСТО не дают оснований приписывать им свойство релятивности и, тем самым, не дают указаний о том, как преобразуются динамические величины при переходе от одной ИСО к другой. Поэтому можно сказать, что из постулатов ЭфСТО дедуктивно следует только принцип относительности для явлений событийной кинематики.

«Малые» принципы ЭфСТО. Таким образом, в рамках двух постулатов ЭфСТО и соглашения об автономности измерительной процедуры имеют силу следующие принципы:

- относительность событийной кинематики;
- постоянство скорости света в любой ИСО.

Эти принципы ЭфСТО являются более слабыми, чем сопоставимые с ними постулаты ЭйнСТО. Индуктивное расширение каждого из них до уровня соответствующих принципов ЭйнСТО на данном этапе нашего анализа не выглядело бы убедительным, так как эти малые принципы сами по себе, а также и справедливость ПрЛ, не исключают того, что динамические законы или законы движения материальных тел могут не обладать релятивностью. А это позволило бы измерять скорость ИСО относительно эфира, что противоречило бы принципам универсальной относительности ЭйнСТО. Введенный ниже в подразделе 1.6 третий постулат о кинематике тел уменьшит разрыв между малыми принципами ЭфСТО и принципами ЭйнСТО.

1.6. Преобразование размеров тела

В отличие от замедления времени, для которого *адекватность* активного преобразования пассивному является следствием двух постулатов ЭфСТО, вопрос об активном преобразовании размеров тела в рамках этих постулатов остается открытым. Требуется третий постулат.

1.6.1 Пассивное преобразование размеров тела

Лоренцево сокращение длины стержня. *Собственной длиной* продольного стержня назовем его длину L^C, измеренную в ИСО, в которой стержень неподвижен. Если ею служит K'-система, то $L^C=\Delta x^C=x_2'-x_1'$. Пусть x_2 и x_1 – засечки концов стержня, выполненные в K-системе в один и тот же момент времени по K-часам. Тогда величину $L^B=\Delta x^B=x_2-x_1$ называют *длиной движущегося стержня*, т.е. L^B – это длина стержня, измеренная в ИСО внешней по отношению к стержню.

Если t_0 – момент измерения длины в K-системе, то из ПрЛ (44) имеем $x'_2=\gamma_v(x_2-vt_0)$, $x'_1=\gamma_v(x_1-vt_0)$, т.е.

а) $L^C=\gamma_v L^B$ *или* б) $L^B=\chi_v L^C$. (1.51)

Длина продольного стержня, измеренная во внешней ИСО, меньше его собственной длины.

Сокращение длины стержня, определяемое в (51, б), будем называть *лоренцевым сокращением,* относя этот термин только *к пассивному преобразованию.* С позиции ЭфСТО это сокращение в определенной мере можно назвать *кажущимся*, так как оно связано с выбранным способом измерения. А прямого способа размеров тел в разных ИСО пассивное преобразование не предполагает.

В ЭйнСТО утверждают, что это – «реальный эффект». Паули, Ландау и другие авторы приводят такой предложенный Эйнштейном мысленный эксперимент. Два стержня одинаковой собственной длины L^C движутся навстречу друг другу с равными скоростями относительно K-системы. В момент времени, когда стержни совместятся, в K-системе, внешней по отношению к стержням, можно сделать засечки концов стержней и измерить длину L^B между ними. При этом имеет силу (51), т.е. $L^B=\chi_v L^C$. Указанные авторы обращают внимание на то, что в этом МЭ не используются часы. «Поэтому мы должны сказать, что лоренцево сокращение не есть свойство одного масштаба, а представляет собой принципиально наблюдаемое взаимное свойство двух масштабов» [4, с.29]. Да, масштабы в K-системе и в системах движущихся стержней разные, и это принципиально наблюдаемо. Однако утверждение, что часы не участвуют в процессе формирования этого различия масштабов, неверно. Эффект как раз и создается благодаря часам, которые согласно (20) и (31а) формируют масштаб расстояний. Без часов невозможно было бы установить ни равенство скоростей стержней, ни факт одновременного совмещения концов стержней с позиции K-системы.

Расстояние между пространственно-подобными событиями. Рассмотрим вопрос о том, как с позиций двух ИСО соотносятся расстояния между двумя *событиями*, связанные пространственноподобным интервалом, не опираясь на понятие «стержень».

Этот анализ можно выполнить на базе (49) при w/c>1. В результате получим:

$\Delta x' > \Delta x$ при $wv/c^2 > 1+\chi_v$, $\Delta x' < \Delta x$ при $1 < wv/c^2 < 1+\chi_v$.

Тем самым, расстояние между двумя пространственно-подобными событиями в одной ИСО по отношению к другой может сокращаться, удлиняться, не изменяться. Однако среди штрихованных ИСО существует одна (при $wv=c^2$), в которой оба события происходят одновременно ($\Delta t'=0$) и при этом $\Delta x'=\chi_v\Delta x$. Важно понять, как записать это соотношение в обратимом виде?

Назовем собственным расстоянием Δx^c между двумя событиями расстояние между ними в ИСО, в которой они произошли одновременно. Расстояние в другой системе обозначим через $\Delta x^в$. Тогда

$$\Delta x^c=\chi_v\Delta x^в, \qquad (1.52а)$$

т.е. для событий результат иной, чем (51) для стержня.

Рассмотрим этот же вопрос, опираясь на инвариантность интервала. Если события одновременны в K'-системе ($\Delta t'=0$), то $s^2=-\Delta x'^2=\mathrm{inv}(v)$. Другими словами, именно $\Delta x'$ определяет значение интервала:

$$\Delta x^c=\chi_v\Delta x^в=\mathrm{inv}. \qquad (1.52б)$$

Таким образом, интервал выражается непосредственно через пространственное расстояние для пары событий, т.е. в той ИСО, в которой они одновременны. Значение Δx^c - это то, что может быть измерено в собственной ИСО «линейкой», которая приложена к двум событиям в момент их одновременного появления. Величина $\Delta x^в$ - это расстояние между метками, которые оставили на теле K-системы эти события, произошедшие в разное время по K-часам.

Величина Δx^c - наименьшее значение пространственного расстояния между следами событий на множестве всех ИСО. Величина $\Delta x^в$ определяет проекцию интервала между событиями на ось X в ИСО, внешней по отношению к собственной ИСО пары пространственноподобных событий. В силу специфики интервала проекция длиннее самого 4-вектора.

> Расстояние между пространственноподобными событиями, измеренное во внешней ИСО больше, чем собственное (инвариантное) пространственное расстояние между ними.

Результат (52) для событий не совпадает с (51) для длины стержня. Причина этого в том, что *стержень* – это объект, природа не определяется однозначно с событиями, с ним связанными.

Стержень как особый объект. Стержень можно мыслить как множество точек, которые являются носителями локальных процессов, которые в каждый момент собственного времени стержня определяют состояние стержня в целом. При этом получается, что одновременные события для любой пары точек стержня, связанные с этими процессами, связаны пространственноподобным интервалом, и, тем самым, эти процессы не могут взаимодействовать между собой. В собственной системе стержня его длину можно определить как разность расстояний до событий на его концах, не обязательно являющихся одновременными, т.е. можно сказать, что ИСО, в которой стержень неподвижен, является той системой отсчета, в которой формируется его собственная длина.

Наряду с процедурой измерения длины стержня во внешней ИСО путем засечки положения его концов, одновременной по часам этой внешней ИСО, можно представить себе, что собственные локальные процессы на концах стержня формируют одновременные события, доступные для внешнего наблюдения. Во внешней ИСО эти события, однако, не одновременны и, тем самым, невозможно приложение линейки к обоим событиям. Можно, конечно, измерить расстояние между метками на теле внешней ИСО, которые оставили эти события на концах стержня, что даст (52). Но адекватно ли это сути собственного существования стержня?

Применение результата (52) к понятию длины стержня в разных ИСО означает, что существование стержня как объекта в целом определяется в его собственной системе отсчета. При этом собственная длина стержня будет совпадать с интервалом для собственных событий на его концах, т.е. являться инвариантом. Это обстоятельство нам окажется полезным в дальнейшем.

В [3, с.54] обоснование сокращения длины стержня, исходя из инвариантности интервала, выполнено следующим образом. Стержень считается неподвижным в K-системе. В качестве пары событий рассматриваются моменты одновременной засечки концов стержня в K'-системе ($\Delta t'=0$). При этом $s^2=-\Delta x'^2$, длине стержня в этой K'-системе приписывается длина L, а длине в K-системе приписывается длина L_0, что вследствие инвариантности интервала дает $L=\chi_v L_0$. Этому результату приписывается смысл (51).
Эти рассуждения комментируются так: «сокращение длины определяется не только свойством пространства-времени, но и нашим способом измерения, поэтому оно, в отличие от замедления времени не имеет такого физического значения…», ввиду того, что «в отношении стержня причинная связь отсутствует».

Но здесь есть некая странность. Ведь из того, что в K'-системе $\Delta t'=0$, вовсе не исключается, что стержень был неподвижен в K'-системе. Если же принять, он неподвижен в K-системе, то из $s^2=-\Delta x'^2=-L^2=inv$ получается, что для одного и того же физического стержня в каждой внешней ИСО путем генерации в ней одновременных событий - засечек его концов – формируется своя «инвариантная длина стержня». И что, наконец, означает «…такого физического значения»? Возникает «вечный» вопрос: это реальный эффект или кажущийся, коль скоро длина определяется нашим способом измерения?

На наш взгляд, стержень - это объект, который без дополнительных предположений о физической структуре его внутренних процессов не выражается однозначно через понятие «событие». Поэтому анализ с помощью инвариантности интервала не дает обоснованный ответ на вопрос о сокращении длины стержня, так как сам интервал и его инвариантность получены для событий, и непосредственно непригодны для тел.

Однако способ измерения длины стержня во внешней системе путем одновременной засечки его концов является разумным соглашением. В ЭфСТО оно совместимо с единственно корректным способом измерения истинной длины в ЭСО. Оно является *автономным* в отличия от способа определения длины по одновременным собственным событиям на концах стержня. Тем не менее, измеренную таким способом длину движущегося стержня можно считать иллюзорной до тех пор, пока мы не определим, как изменяется длина стержня при переносе его из одной ИСО в другую, что позволило бы сопоставлять длины двух стержней в разных ИСО. Этому посвящен раздел 1.6.

Парадокс штриха. Среди критики СТО можно найти заявление, что специалисты по СТО якобы запутались в том, что означает сокращение длины и замедление времени [http://sceptic-ratio.narod.ru/fi/Doppler.htm#dop-03 Алексей Акимов]. Приводятся следующие примеры:

Эйнштейн, Борн, Паули	$\Delta x=\Delta x'\chi_v, \Delta t'=\Delta t\chi_v$
в курсе Ландау и Лифшица	$\Delta x'=\Delta x\chi_v, \Delta t'=\Delta t\chi_v$
в Берклеевском курсе	$\Delta x'=\Delta x\chi_v, \Delta t=\Delta t'\chi_v$
в курсе Левича	$\Delta x=\Delta x'\chi_v, \Delta t=\Delta t'\chi_v$

При этом поясняется, что «все варианты получены при одном и том же условии: штрихованная система координат движется, а нештрихованная – покоится». И, раздается клич: «Господа хорошие, подскажите несчастному доценту, какую книгу рекомендовать студентам для изучения азов СТО…».

Однако, дело не в том, что штрихи всегда приписаны движущейся ИСО. Важно то, какой ИСО приписаны исходные специальные условия (неподвижные часы, неподвижный стержень). Эти исходные условия могут быть оба заданы либо в K-системе, либо в K'-системе, либо одно в K-системе, другое в K'-системе. Различие результатов в приведенной таблице связано как раз с тем, что разные авторы рассматривают разные исходные условия по отношению к штрихованной ИСО.

Исключить многообразие формул можно, если принять следующий способ их записи: значение во внешней ИСО выражается через значение в собственной ИСО данного явления, которое во избежание двусмысленности снабжается индексом «с».

Вот эти формулы с объяснением смысла собственной ИСО:

Формула	Собственная ИСО анализируемой ситуации
Замедление времени ($s^2>0$): $\Delta t=\gamma_v \Delta t^c$	В ней оба события происходят в одной точке ее пространства, а инвариант Δt^c совпадает со значением времениподобного интервала этих событий
Расстояние между событиями ($s^2<0$): $\Delta x=\gamma_v \Delta x^c$	В ней оба события происходят в один момент времени, а Δx^c инвариант совпадает со значением пространственно-подобного интервала этих событий
Сокращение стержня: $L=\chi_v L^c$	В ней стержень неподвижен, и в ней длина стержня считается его собственной длиной

Заметим, что эти формулы нельзя обращать путем смены места индекса «с», т.е. из $\Delta t=\gamma_v \Delta t^c$ следует $\Delta t^c=\chi_v \Delta t$, но не $\Delta t^c=\gamma_v \Delta t$.

1.6.2 Парадоксы пассивного преобразования

Накоплен букет парадоксов, связанных с лоренцевым сокращением длины стержня [16], [22]. Противники теории относительности порой видят в них не столько парадоксальность, сколько реальные противоречия, якобы, присущие СТО. Среди подобного рода МЭ есть не только простые, но и весьма изощренные, так что для неискушенных в СТО читателей имеет смысл их рассмотреть.

Типичным является парадокс стержня и трубки. Пусть собственные их длины одинаковы: $L_{Ст}=L_{Тр}$. Стержень входит в трубку. Помещается ли он целиком в трубке? Парадоксальность здесь видят в следующем:

- с точки зрения стержня длина трубки $L^{Ст}_{Тр}<L_{Ст}$ и, тем самым, стержень в трубке не поместится;

- с точки зрения трубки длина стержня $L^{Тр}_{Ст}<L_{Тр}$, т.е. стержень в трубке поместится.

Здесь и далее нижний индекс при параметре указывает объект, к которому относится значение параметра, а верхний - систему отсчета, в которой производится измерение параметра (индекс «с» будем опускать).

СТО справедливо объясняет, что противоречия нет, так как в силу относительности одновременности мнение наблюдателя действительно различно в зависимости о того, находится он на стержне или на трубке. Вопрос «а что же на самом деле?» считается в данном случае бессодержательным, так как МЭ не включает указания того, в какой системе находится наблюдатель, для которого имеют значения конкретные последствия «на самом деле».

Парадоксы 1-го рода. Сюда отнесем простые МЭ, в которых для выявления правильного ответа достаточно просто понять, где фактически находится наблюдатель.

Источник и экран. Прямоугольный стержень движется относительно источника света с апертурой в виде прямоугольника. Тень от стержня падает на экран. Затенит ли полностью стержень источник на какой-то период времени? Здесь, однако, ясно, что вопрос ставится с позиции экрана.

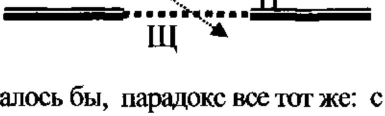
Конкретизируем, как это можно технически проверить. Рассмотрим два точечных излучателя световых импульсов в крайних точках апертуры источника. Напротив каждого излучателя на экране расположим точечный приемник, который запоминает те периоды времени, в которые импульсы не приходили. При этом существенно, что *часы этих приемников синхронизованы между собой в системе экрана.* Запомненные данные анализируют после завершения опыта. Если на обоих приемниках промежутки времени, в которые сигналы не поступали, пересекаются, то это означает, что в период пересечения этих промежутков экран затенял оба излучателя. Так как собственная длина апертуры источника $L_{Ис}$ сравнивается с длиной $L^{Ис}_{Ст}$ движущегося стержня в системе источника, то при $L_{Ис}=L_{Ст}=L$ имеем $L_{Ис}=L>L^{Ис}_{Ст}=\chi_v L_{Ст}=\chi_v L$.

Тем самым, при $L_{Ис}=L_{Ст}$ экран по своим часам ни в один момент времени не окажется затененным на всю длину апертуры источника.

В [16, с.83] не конкретизируется логика, определяющая полную затененность экрана. В результате сделано неправильное заключение, что экран на мгновение затенит источник.

Парадоксы 2-го рода. Это такие МЭ, в которых положение наблюдателя не очевидно, и требуется более детальный анализ.

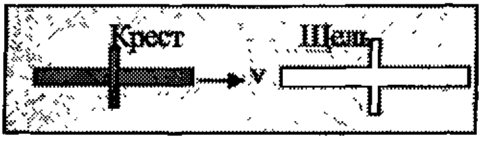
Парадокс стрелы. Пусть (рис. ниже) стрела С движется относительно плоскости П со щелью Щ, причем стрела расположена параллельно щели. Пусть собственные длины стрелы $L_{Ст}$ и щели $L_{щ}$ равны. Проскочит ли стрела через щель? Казалось бы, парадокс все тот же: с позиции щели «проскочит» (аварии не будет), а с позиции стрелы – «не проскочит» (авария). Но ясно, что авария будет или нет. Поэтому такие «простые» рассуждения в данном случае



некорректны, т.к. не учитывают наличие у стрелы вертикальной составляющей скорости v_y, что делает ситуацию несимметричной. Ведь *если* $v_y=0$, *то и сближения нет.*

Процесс можно изучать с позиции любой ИСО, но при этом все параметры длин, ориентацию объектов и компоненты скоростей надо пересчитать в систему выбранной ИСО. При условии, что положение стрелы задано как параллельное щели в ИСО щели, задачу проще всего решать в ИСО щели. $L^{щ}_{Ст}=L_{Ст}\chi(v)$, где $v=(v_x^2+v_y^2)^{1/2}$. Тем самым, результат зависит от соотношения $L_{щ}/L^{щ}_{Ст}$. Если $L_{щ}=L_{Ст}=L$, то $L_{щ}/L^{щ}_{Ст}=L_{щ}/L_{Ст}\chi(v)=1/\chi(v)>1$, т.е. стрела проскочит через щель.

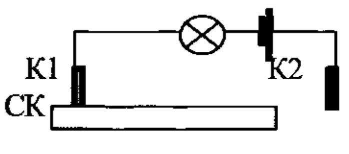
Парадокс креста [22, с.39]. По плоскости, на которой имеется щель в



виде креста, скользит другой плоский крест (рис. слева, вид сверху). У движущегося креста и у щели перекладина находятся посередине их длины, причем длина креста намного больше ширины перекладины. Центр тяжести креста находится в центре перекладины. Провалится ли крест в щель или нет, зависит от того, с позиции какой системы отсчета рассматривается процесс. Этот МЭ отличается от МЭ со стрелой и щелью тем, что явно не указано их движение друг относительно друга по вертикали. Если же предполагать действие силы тяжести, то правильный ответ будет при анализе в системе отсчета щели, так как в ИСО щели крест расположен параллельно щели, и именно он получит под действием силы тяжести вертикальную составляющую скорости, т.е. крест провалится.

Парадоксы 3-его рода. В этих МЭ ответ не может быть найден в рамках кинематики.

Электрический МЭ [16, с.83]. Мимо контактов К1 и К2 в схеме из



батарейки и лампочки движется стержень, который служит скользящим контактом (СК). Пусть собственная длина стержня равна собственному расстоянию между контактами. Замкнет ли стержень цепь?

Хотя наблюдатель вроде бы определен – это лампочка, но ее можно, в принципе, поместить и в линию скользящего контакта, и непонятно, должно ли это повлиять на результат или нет. На наш взгляд, здесь «без привлечения физики электричества», не обойтись. Возможно, что в [16] справедливо критикуется предложенное объяснение «с физическим содержанием», но этого явно недостаточно для отрицания СТО.

«Что вы думаете по этому вопросу, доктор Ватсон? – Очень запутанное дельце. – Какое тонкое наблюдение!»

1.6.3 Активное преобразование размеров тела

Вопрос о том, как физически изменяется длина стержня при его ускорении или повороте, находится за рамками процедуры вывода преобразований Лоренца как в ЭфСТО, так и в ЭйнСТО. Однако в ЭйнСТО, ссылаясь на постулат относительности и, подразумевая пустое пространство, считают, что активные преобразования должны быть адекватны пассивным [8, с.508]. Но в ЭфСТО оба эти обстоятельства не являются базовыми, и априори нельзя исключать возможность неадекватности пассивных и активных преобразований размеров тела.

Если стержень *идеально жесткий*, то изменение скорости или положения стержня было бы возможно лишь притом, что к каждой его точке приложены одновременно равные силы по собственным часам точек стержня. Если же стержень находится под воздействием сил, приложенных к одной или конечному числу его точек, то для того, чтобы получить ускорение в целом его точки должны передавать друг другу взаимодействие, так что стержень не может быть идеально жестким (твердым). Поэтому на этапе ускорения стержень претерпит деформацию. Нас будет интересовать вопрос: как изменится собственная длина стержня после того, как его както перевели из одного состояния инерциального движения в другое, т.е. нас интересует не переходный процесс, а результат. В этом плане будем рассматривать *идеально упругие тела*, т.е. такие, форма и размеры которых в состоянии их инерциального движения определяется только их движением относительно ЭСО. Рассмотрим на этот счет две умозрительные возможности:

1) ***гипотеза Фицджеральда-Лоренца*** о сокращении истинных размеров тела в направлении движения относительно эфира;

2) ***гипотеза Майкельсона*** о неизменности истинных размеров тела от их скорости относительно эфира.

Каждую гипотезу надо понимать так, что

для всех тел, независимо от материала, из которого они изготовлены, имеет силу соответствующее утверждение.

Поэтому вопрос об изменении размеров тела при переносе его в другую ИСО невозможен с помощью вещественных эталонов длины («линеек»), которые естественно изменяются так же, как стержни. По этому поводу А. Пуанкаре в 1905г писал, что, принимая во внимание сокращение Лоренца «двумя равными отрезками, по определению, будут такие два отрезка, которые свет проходит за одно и то же время». Однако сказанное еще не означает, как это будет видно дальше, что нельзя иметь вещественный эталон длины.

Ниже рассмотрены эти две гипотезы.

1.6.3.1 Гипотеза Фицджеральда–Лоренца

Инвариантность собственных размеров. Речь идет о гипотезе Фицджеральда–Лоренца:

истинные размеры тела, неподвижного относительно эфира, при сообщении ему скорости **V** уменьшается только в направлении вектора скорости, причем пропорционально χ_V.

Будем называть эффект такого активного изменения истинной длины *фицджеральдовым сокращением,* чтобы отличать его от пассивного *лоренцева сокращения.* Гипотеза Фиджеральда-Лоренца объясняет сокращение истинной длины тела его взаимодействием с эфиром. Важно при этом, что этот физический процесс не связан с постулатом о часах. Так как процедура измерения длины движущегося стержня определяется в ЭСО естественным образом на основе классических представлений.

Ниже будет показано, что эта гипотеза в рамках двух других постулатов ЭфСТО эквивалентна тому, что мы *назовем тезисом Эйнштейна.* Сформулируем этот тезис.

Пусть продольный стержень сначала был неподвижен в К-системе. Назовем его объектом «К», его собственная длина равна L_K (верхний индекс «с» опущен). Затем этот стержень разогнан до скорости V относительно К и оказался неподвижным в К′-системе. Этот новый объект будем обозначать как K→K', а его собственную длину как $L_{K\to K'}$.

Тезис Эйнштейна утверждает, что

собственная длина стержня не изменяется при его повороте или перемещении, в том числе в другую ИСО:

$$\boxed{L_K=L_{K\to K'}=\mathrm{inv}(v).} \qquad (1.53)$$

С позиции ЭйнСТО «тезис Эйнштейна» считается следствием принципа относительности.

Эйнштейн в работе 1905 г. в §2 рассматривает покоящийся стержень длиной L, его последующий разгон. Утверждается, ссылаясь на принцип относительности, что его длина, измеренная в движущейся системе «непосредственно путем прикладывания масштаба такая же, как если бы измеряемый стержень, наблюдатель и масштаб находились в покое». Эта величина названа как "длина стержня в движущейся системе». Так как масштаб в виде бруска изменяет свою длину так же как стержень, то утверждение о «прикладывании масштаба» надо подразумевать как одинаковое значение собственное значение стержня при разгоне как измерение его длины локацией.

Рассмотрим сначала перенос продольного стержня в другую ИСО, опираясь на тезис Эйнштейна. После перемещения стержня в K'-систему его длина $L^K_{K\to K'}$, с позиции K-системы согласно (51) определяется как $L^K_{K\to K'}=\chi_v L_{K\to K'}$. С учетом (53) получим

$$L^K_{K\to K'}=\chi_v L_K. \qquad (1.54)$$

Таким образом, с позиции K-системы при перемещении стержня из K в K' он *сократит* свою длину по сравнению с исходной.

Соотношение (54) для случая, когда в качестве K-системы выступает ЭСО, соответствует гипотезе Фицджеральда-Лоренца:

$$L^Э_{Э\to K'}=\chi_v L_Э. \qquad (1.54э)$$

где индекс «э» признак ЭСО.

Теперь возьмем в качестве исходной гипотезу Фицджеральда-Лоренца (1.54э). При перемещении стержня длиной $L_Э$ из ЭСО в K'-систему его истинная длина $L^Э_{Э\to K'}$ будет равна $\chi_v L_Э$. Так как из (51) $L^Э_{Э\to K'}=\chi_v L_{Э\to K'}$, то $L_{Э\to K'}=L_Э$, т.е. собственная длина стержня не изменилась. Аналогично при перемещении стержня из ЭСО в K-систему: $L_{Э\to K}=L_Э$. Тем самым, $L_{Э\to K}=L_{Э\to K'}$. Так как перенос Э→K' должен дать тот же результат, что последовательные переносы Э→K и K→K', то $L_K=L_{K\to K'}$, то это доказывает (53).

Сказанное означает, что гипотеза Фицджеральда-Лоренца тождественна тезису Эйнштейна. Оно является *релятивным преобразованием,* т.е. оно имеет силу по отношению к любой условно неподвижной ИСО.

Соотношение (53) имеет силу также для стержня расположенного и под углом к относительной скорости систем отсчета и к повороту стержня.

Формулировка эффекта в форме тезиса Эйнштейна (53) не опирается на способ измерения длины движущегося стержня в неподвижной ИСО. С другой стороны, формулировка эффекта в форме гипотезы Фицджеральда-Лоренца (54э) опирается на способ измерения длины движущегося стержня в ЭСО, которое в силу двух постулатов ЭфСТО адекватно измерению длины движущегося стержня в произвольной ИСО. Эти две формулировки, таким образом, оказываются адекватными при измерении длины движущегося стержня по одновременной засечке его концов. Адекватность пассивного и активного преобразования обеспечивается, таким образом, в рамках принятого способа измерения длины движущегося стержня. Если гипотеза Фицджеральда-Лоренца принимается, то это будет означать, что лоренцево сокращение (пассивное преобразование) нельзя называть иллюзией, так как оно адекватно физическому эффекту при активном преобразовании.

Тезис Эйнштейна более удобен для анализа различных ситуаций, чем гипотеза Фицджеральда-Лоренца.

Когда в ЭйнСТО преобразование (51) формулируют в духе активного преобразования в виде: «длина движущегося стержня, расположенного в направлении движения, меньше длины покоящегося», то это не следует понять как сокращение его собственной длины, так как это сокращение происходит с позиции того же K-наблюдателя. При последующем его возврате в K-систему путем торможения собственная длина стержня возвращается к исходному значению.

Если длину продольного стержня, неподвижного в K'-системе, измерить в K-системе, а затем в той же K'-системе повернуть на 90° и снова измерить его длину в K-системе, то с позиции K-системы стержень изменит свою длину.

О напряжениях в стержне. Задача Белла. Пусть в K-системе на оси X на расстоянии L_K находятся две ракеты, которые в некоторый момент одновременно по K- часам начинают разгоняться в направлении линии их соединяющей. Этот разгон по часам K-системы выполняется по одной и той же программе управления двигателями ракет. По достижению скорости v относительно K-системы двигатели прекращают работу, и далее ракеты летят с одинаковой постоянной скоростью, т.е. станут неподвижными в K'-системе. Пусть между ракетами была натянута невесомая пружина. Растянется она или сожмется?

Расстояние между ракетами по условиям задачи будет неизменным с позиции K-системы: $L^{K}_{K\to K}=L_K$. После завершения разгона собственное расстояние между ракетами в силу (51) будет равно $L_{K\to K}=L^{K}_{K\to K'}/\chi_v=L_K/\chi_v>L_K$, т.е. увеличится.

Теперь определим, что произойдет с самой пружиной. Согласно (53) ее собственная длина после завершения разгона не должна была бы измениться: $L_{K\to K}=L_K$. Тем самым, пружина, связанная с двумя ракетами, растянется. В ней за счет работы двигателей возникнут напряжения, и накопится энергия.

Это может показаться *парадоксальным*, но легко объясняется тем, что с позиции пружины движение ракет не будет синхронным, и правая ракета ускоряется с опережением. Если после разгона одна из ракет отпустит пружину, то ее собственная длина примет исходное значение L_K.

Следует заметить, что сам способ управления движением ракет выглядит неестественным. Более естественным является управление двигателями по общей программе, управляемой собственными часам ракет. В этом случае собственное расстояние между ракетами не изменилось бы, и напряжения в пружине не возникли. Тезис Эйнштейна, таким образом, предполагает, что силы, ускоряющие стержень, равномерно распределены по его длине и действуют синхронно по часам ИСО стержня, так что в нем не возникают внутренние напряжения.

Если же стержень тянет/толкает одна ракета, то на этапе ускорения неизбежно должна возникнуть упругая деформация стержня, и собственная длина стержня изменится. Но когда скорость стержня станет постоянной, то для *идеально упругого стержня* его исходная собственная длина восстановится.

1.6.3.2 Гипотеза Майкельсона

В этом случае предполагается, что истинная длина $\underline{L}$ стержня, движущегося относительно эфира, не изменяется при изменении его скорости **V** относительно эфира:

$$\boxed{\underline{L}=inv(V_K),} \qquad (1.55)$$

где V_K –скорость K-системы относительно эфира.
Пусть стержень исходно расположен продольно в K-системе и его длина равна L_K. Рассмотрим, как изменятся собственная длина $L_{K\to K'}$ стержня после его перемещения в K'-систему по отношению к его исходной длине L_K. Согласно (55) и (51) имеем:

$$L_K=\underline{L}/\chi(V_K) \text{ и } L_{K\to K'}=\underline{L}/\chi(V_{K'}) \ \Rightarrow L_{K\to K'}/L_K=\chi(V_K)/\chi(V_{K'}),$$

где V_K и $V_{K'}$ - скорости систем K и K' относительно ЭСО.
Если v – скорость K' относительно K, то с учетом (11) имеем:

$$L_{K\to K'}/L_K=(1+vV_K/c^2)/\chi_v. \qquad (1.56)$$

Соотношение (56) показывает, что изменение собственной длины стержня зависит от знака vV_K. Это соотношение в отличие от (54) не релятивное, т.е. невозможно его выразить только через относительные скорости.

Соотношение (56) будет выполняться на этапе ускорения стержня, если с его концами связаны две ракеты, ускорение которых выполняется при синхронной работе их двигателей по часам ЭСО. При $V_K=0$ результат совпадает с результатом, полученным в задаче Белла для режима синхронизации двигателей по K-часам. В процессе разгона стержня в нем будут возникать деформации, так как силы не приложены ко всем точкам. Однако когда скорость стержня станет постоянной, то при *идеальной упругости стержня* его исходная истинная длина восстановится.

Экспериментальная установка, изложенная в подразделе 1.1.3, если она находится в системе K, движущейся относительно эфира, будет фиксировать изменение длины стержня в соответствии с соотношением $L^K_{K\to K'}/L_K=(1+vV_K/c^2)/\chi_v$, что позволяет по измеренным значениям $L^K_{K\to K'}/L_K$ и v найти скорость V_K установки относительно эфира, т.е.

в условиях гипотезы Майкельсона можно измерить движение ИСО относительно эфира.

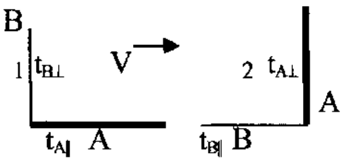
Интерферометр Майкельсона. А. Майкельсон предложил прибор - *интерферометр Майкельсона* - для измерения скорости Земли относительно эфира. Схему прибора можно найти практически в любом учебнике по СТО, например [5, с.70]. Рассмотрим идею этого прибора.

Пусть в условиях гипотезы Майкельсона измеряется время t локации длины стержня с истинной длиной L, движущегося вместе с Землей относительно эфира. Результаты при этом будут разными в зависимости от положения стержня по отношению к вектору скорости Земли **V**, а именно:

$t_{\parallel}=2L/c\chi_V$ - для продольно расположенного стержня или с точностью до членов второго порядка малости $\approx 2(L/c)(1+V^2/2c^2)$;

$t_{\perp}=2L/c$ - для поперечно расположенного стержня.

На рисунке ниже представлен каркас прибора из двух взаимно перпендикулярных стержней А и В для двух его положений. В положении 1 прибора стержень А расположен параллельно вектору скорости **V**. Положение 2 соответствует повороту прибора на 90 градусов против часовой стрелки.



Времена локации длин стержней обозначены как $t_{A\parallel}$ и $t_{B\parallel}$ для их продольного положения и $t_{A\perp}$ и $t_{B\perp}$ для их поперечного положения. Фактически интерферометр измеряет сдвиг интерференционной картины при разных угловых положениях прибора и составляет:

Интерферометр Майкельсона позволит по интерференционной картине разность времен локации двух стержней, перпендикулярных друг другу:

- в положении 1: $\Delta t_1 = t_{A\parallel} - tL_{B\perp} = (L/c)(V/c)^2$;
- в положении 2: $\Delta t_2 = t_{A\perp} - t_{B\parallel} = -(L/c)(V/c)^2$.

Тем самым, изменение разности ΔL при повороте прибора на 90° составит:

$$\Delta t = \Delta t_1 - \Delta t_2 = 2(L/c)(V/c)^2. \qquad (1.57a)$$

С учетом того, что сдвиг интерференционных полос определяется ходом лучей в прямом и обратном направлении этот сдвиг $\Delta\lambda$ по отношению к длине волны λ источника света определяется как

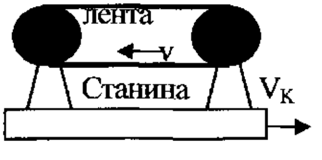
$$\Delta\lambda/\lambda=2L(V/c)^2. \qquad (1.57б)$$

Таким образом, в условиях гипотезы Майкельсона, измеряя $\Delta\lambda/\lambda$ с помощью интерферометра при различных углах его поворота, можно определить скорость прибора относительно эфира. В силу того, что $\Delta\lambda/\lambda$ зависит от квадрата V/c, такого рода опыты называются ***опытами второго порядка***.

В условиях тезиса Эйнштейна опыт должен дань отрицательный результат, так как собственная длина плеч прибора при их повороте не меняется. Это можно интерпретировать так, что стержень должен претерпевать фицджеральдово сокращение своих продольных размеров относительно эфира и, тем самым, точно компенсировать влияние относительного движения на скорость света.

Заметим, что проблемы объяснения отрицательных результатов опытов с интерферометрами возникают при отвергнутой баллистической гипотезе. Предположения об увлечении эфира движущейся Землей также естественным образом объясняют отрицательные результаты таких опытов. Однако подход ЭфСТО исходит из не увлекаемого эфира и независимости скорости света от движения источника.

Парадокс транспортера. Пусть транспортер расположен в К-системе, и его станина имеет скорость V_K относительно эфира. В исходном состоянии лента неподвижна и точно обтягивает шкивы. Механических напряжений в ленте нет. Затем лента разгоняется относительно станины, так что ее точки движутся относительно станины со скоростью v. Пусть $v< V_K$. Расстояние между шкивами жестко фиксировано. Диаметром шкивов по сравнению с длиной ленты пренебрежем.



Рассмотрим с позиции ЭфСТО напряжения, возникающие в ленте, для гипотез Фицджеральда-Лоренца и Майкельсона. При этом будем предполагать, что при обеих гипотез в материале каждой из частей ленты не должны возникать напряжения при ее движении.

Гипотеза Майкельсона. Истинные длины нижней и верхней частей ленты после ее разгона не изменятся – новые механические напряжения в ленте не появятся. Вопрос о том, каковы будут длины частей ленты с позиции наблюдателя на станине или относительно наблюдателя на противоположной части ленты, не имеет значения для функционирования транспортера.

Гипотеза Фицджеральда-Лоренца. Вследствие фицджеральдового сокращения собственная длина одной части ленты должна удлиниться по отношению к расстоянию между шкивами, а другая – укоротиться, так как их скорости по отношению к эфиру имеют разное направление. При хорошем сцеплении ленты со шкивами («гусеничное» сцепление) конструкция механизма не позволит перераспределиться длине ленты между ее частями. Это создаст реальные механические напряжения в частях ленты, которые в принципе можно измерить.

Таким образом, с позиции ЭфСТО:

а) положительный результат этого опыта (несимметрия натяжения частей ленты) подтверждает гипотезу о фицджеральдовом сокращении, и, тем самым, опыты с интерферометрами должны дать отрицательный результат;

б) отрицательный результат подтверждает гипотезу Майкельсона, а из этого следует, что опыты с интерферометрами должны дать положительный результат.

Заметим, что противоположные результаты в опыте с транспортером и в опыте с интерферометром являются следствием того, что в первом опыте «стержень» (лента) движется, а во втором он лишь изменяет свое статическое положение.

Мысленный эксперимент с транспортером, врядли можно реализовать практически.

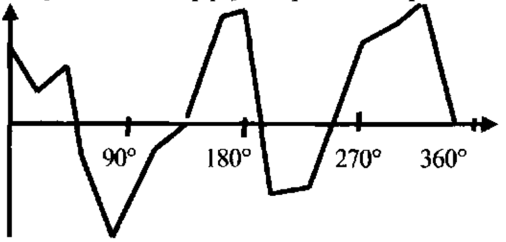
С позиции ЭйнСТО несимметричного натяжения не должно быть, в какой бы ИСО ни находилась станина транспортера.

1.6.3.3 Постулат о размерах движущихся тел

Опыты 2-го порядка с интерферометрами. Считается, что в опыте Майкельсона (1881г) и в последующих опытах эфирный ветер не был обнаружен.

Ниже для опыта Майкельсона-Морли (1887г) приведен график зависимости смещения интерференционных полос $\Delta\lambda/\lambda$ зависимости от угла поворота прибора (взят из [13, с.32]). Этот график построен на основе результатов обработки данных опыта Майкельсона, выполненных академиком В.И. Вавиловым в соответствии с методическими замечаниями Д. Миллера.

Измеряемый интерферометром сдвиг фазы должен иметь период в пол оборота



интерферометра. На графике просматривается наличие такого эффекта. Результат опыта позволяет считать, что обнаружен эфирный ветер со скоростью около 3 км/сек. По данным Д. Миллера результаты опыта Майкельсона-Морли 1887г, а также опытов Морли и Миллера 1902, 1904 и 1905 годов давали для значения эфирного ветра значения в пределах 7.5-10 км/сек [12, с.191].

Наиболее часто обсуждаются опыты с интерферометром, выполненные Д. Миллером и его сотрудниками с 1921-1926г. на высоте 1860м [9]. В этих опытах получено ***значение эфирного ветра около 9-10 км/сек.*** По мнению Д. Миллера малые значения измеряемой скорости эфирного ветра объясняются фицджеральдовым сокращением равным около процентов. С позиции двух постулатов ЭфСТО такой эффект в принципе возможен. Он не противоречит ПрЛ, так как ПрЛ получены для событийных явлений. Сторонники эфирных представлений высоко ценят результаты Миллера [12; 13; 25].

Однако во всех опытах с интерферометрами остался не выясненным важный вопрос о причине наличия систематического хода измеряемой величины $\Delta\lambda/\lambda$ в процессе поворота интерферометра, что служит недоверием к опытам с положительным результатом. В частности, мнение академика В.И. Вавилова таково: «...интерферометр Миллера столь чувствителен, что многие трудно учитываемые местные влияния могут оказаться причиной систематического смещения полос». Опыт с интерферометрами производился десятки раз, при этом оценка скорости эфирного ветра не превышала 7 км/сек [19, с.84]. Официально считается, что это значение лежит в пределах точности измерений.

Поэтому мы примем за основу гипотезу Фицджеральда-Лоренца и постулируем ее.

Третий постулат. С учетом изложенного выше принимаем гипотезу Фицджеральда-Лоренца в качестве *постулата о размерах идеально упругих движущихся тел*: тело, неподвижное относительно эфира, при сообщении ему скорости **V** сокращает свои размеры в направлении вектора скорости в соответствии с коэффициентом χ_V.

В рамках первых двух постулатов ЭфСТО из этого постулата следует тезис Эйнштейна об инвариантности собственных размеров тела при повороте, переносе и изменении его скорости.

Этот постулат, как и тезис Эйнштейна, не является следствием ни ПрЛ, ни инвариантности интервала. Он отражает свойства внутренней структуры твердого тела, которых мы здесь не касаемся. Мнение В. Паули на этот счет таково:

> «...Эйнштейн сделал теорию независимой от специальных предположений о строении материи. Следует ли на этом основании вообще отбросить стремление к атомистическому обоснованию лоренцева сокращения? На наш взгляд, это - не так. Сокращение масштаба является не простым, а напротив, крайне сложным процессом. Оно не имело бы места, если бы не только основные уравнения электронной теории, но и еще неизвестные законы строения электрона не были ковариантными относительно группы преобразований Лоренца. Мы можем только постулировать это предположение, зная, что когда указанные законы станут известными, теория будет в состоянии дать атомистическое объяснение поведению движущихся масштабов и часов. При этом нужно, конечно, сознавать равноправие обеих движущихся друг относительно друга систем» [4, с.31].

В рамках ЭфСТО высказывание Паули приобретает конкретный смысл: надо явно постулировать фицджеральдово сокращение, не исключая, что законы более глубокого уровня материи могут дать в будущем тому обоснование.

Важную роль постулату о сокращении длины стержня придавал А. Пуанкаре.

Принцип кинематической относительности. Объединив ранее доказанный принцип относительности событийной кинематики с третьим постулатом, получим расширение принципа событийной относительности на тела. Назовем его *принципом кинематической относительности*. Он означает, что кинематические опыты, в которых участвуют материальные точки и идеально упругие тела, не позволят средствами самой ИСО измерить скорость движения относительно эфира.

В условиях третьего постулата *эталон длины в виде бруска из платиноиридиевого сплава*, действовавший до 1960 г., в котором он был заменен эталоном в виде длины волны криптоновой газоразрядной лампы, принципиально законен. Собственная длина при перемещении такого эталона в другую ИСО, измеренная в ней с помощью ИПЭ, даст то же самое значение, что и в исходной ИСО. Это означает, что ИПЭ адекватно физическим постулатам ЭфСТО.

В рамках трех постулатов ЭфСТО каждый конкретный эталонный брусок длины и эталонные часы являются эталонами длины и времени в любой ИСО. Этим эталонам в любой ИСО соответствует одно и то же значение скорости света. С помощью эталона-бруска и стандартизованного значения скорости света синхронизацию часов в двух удаленных точках можно произвести с помощью соотношения (21). Это и дало основание в 1975г. стандартизовать величину скорости света, а эталон длины определен как путь, проходимый светом за определенное время, отсчитываемое по эталонным часам, в отношении которых имеет силу постулат о замедлении времени.

Третий постулат снимает вопрос об иллюзорности ИПЭ, пассивного преобразования длины стержня, постоянства скорости света и ряда других кинематических эффектов. Они становятся реальными физическими эффектами, которым адекватна ИПЭ.

Проиллюстрируем это обстоятельство на эффекте аберрации света. Как было показано в подразделе 1.4.6, релятивистский эффект аберрации представляет собой классический эффект, скорректированный на отличие истинного угла наклона стержня от угла, измеренного на основе ИПЭ через тангенс отношения катетов, на которые опирается гипотенуза приемной трубы телескопа (локатора). Пусть измерительный лимб телескопа размечен угловыми метками при какой-то скорости телескопа в пространстве и измерения будут производиться с помощью этого лимба при другой скорости. Тогда в условиях гипотезы Майкельсона результат по меткам лимба будет иной, чем при расчете угла по катетам, измеренным с помощью ИПЭ. Это различие можно было бы счесть за иллюзорность ИПЭ и, как следствие, релятивистских формул аберрации. Но в условиях третьего постулата эти результаты совпадут, т.е. в этом случае ИПЭ адекватно физике явлений. Только один третий постулат обеспечиваст аберрацию наклона стержня и, тем самым, его одного и классической кинематики достаточно для объяснения релятивистского закона аберрации света.

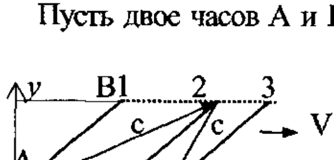
Принцип кинематической относительности дает физическую теорию эталонов длины и времени, основанную на измерениях скорости света на пути «туда и обратно».

1.7. Есть ли эфирный ветер?

О скорости света в одном направлении. У всех концепций, имеющих отношение к эфиру, есть неистребимое желание обнаружить анизотропию скорости света (неравенство скорости света в противоположных направлениях), и, как следствие, измерить скорость движения Земли относительно эфира. Это означает возможность раздельного измерения времени движения светового импульса в направлении «туда» и «обратно». В СТО считается, что такие измерения невозможны, так как для этого надо предварительно синхронизовать часы в двух удаленных точках. А для этого надо применить ИПЭ, которое само основано на измерении скорости света на пути «туда и обратно» в предположении его постоянства. Подход ЭфСТО приводит к такому же выводу. Однако к настоящему моменту имеются эксперименты, в которых заявлено об обнаружении этой анизотропии. Проблемы и эксперименты, к этому вопросу относящиеся (не все известные), обсуждены в [14]. Ниже будут рассмотрены и прокомментированы три впечатляющих эксперимента такого типа.

Для ясности рассмотрим процесс движения светового сигнала в одном направлении с позиции ЭфСТО.

Пусть двое часов A и B неподвижны в K'-системе и расположены на стержне, который в ЭСО движется со скоростью **V**. На рис. слева с позиции ЭСО изображена локация верхнего конца B стержня. Локатор расположен на конце A стержня. Стержень дан в трех положениях 1, 2 и 3, причем точки И и П соответствуют моменту излучения $t_И$ и приема $t_П$ сигнала локации, а точка 2 - моменту t от-



ражения сигнала от верхнего конца стержня. Для времен движения сигнала локации на пути от А до В и на пути от В до А имеем соответственно:

$$(X+Vt_{AB})^2+Y^2=c^2t_{AB}^2;\quad (X-Vt_{BA})^2+Y^2=c^2t_{BA}^2 \qquad (1.58)$$

где X и Y – проекции длины стержня, $t_{AB}=t-t_И$, $t_{BA}=t_П-t$.

Для пересчета к K'-системе надо учесть замедление времени и фицджеральдово сокращение:

$$t_{AB}=\gamma_V t^c{}_{AB},\ t_{BA}=\gamma_V t^c{}_{BA},\quad X=\chi_v X^c,\quad Y=Y^c, \qquad (1.59)$$

где $\quad t^c{}_{AB}=t^{\blacklozenge}{}_B-t^c{}_И,\ t^c{}_{BA}=t^c{}_П-t^{\blacklozenge}{}_B$

$t^c{}_И$ и $t^c{}_П$ – моменты времени в пункте расположения локатора,

$t^{\blacklozenge}$ - момент времени достижения сигналом локации пункта В с позиции движущегося стержня, если бы часы в В были синхронизованы с часами в А методом натуральной синхронизации, т.е. так, что одновременным событиям в пунктах А и В с позиции ЭСО соответствовали бы одновременные события с позиции ИСО.

С учетом (59) квадратные уравнения (58) можно записать в следующей стандартной форме:

$$c^2t^c{}_{AB}{}^2-2X^cVt^c{}_{AB}-\chi_v{}^2X^{c2}-Y^2=0,\quad c^2t^c{}_{BA}{}^2+2X^cVt^c{}_{BA}-\chi_v{}^2X^{c2}-Y^2=0.$$

Откуда найдем $t^c{}_{AB}$ и $t^c{}_{BA}$:

$$t^c{}_{AB}=t^{\blacklozenge}-t^c{}_И=R^c/c+X^cV/c^2,\quad t^c{}_{BA}=t^c{}_П-t^{\blacklozenge}=R^c/c-X^cV/c^2, \qquad (1.60а)$$

где $\quad R^{c2}=X^{c2}+Y^{c2}>0, \qquad (1.60б)$

При этом $\quad t^c{}_{AB}-t^c{}_{BA}=2X^cV/c^2. \qquad (1.60в)$

Для скорости света имеем

$$c_\theta=R^c/t^c{}_{AB}=c(1-V\cos\theta^c/c),\ \text{где}\ \cos\theta^c=X^c/R^c, \qquad (1.61)$$

где θ^c – угол наклона АВ к **V** в системе стержня.

Соотношения (60) отражает различие времен прохождения сигнала в направлении «туда» и «обратно», что, казалось бы, позволяет надеяться вычислить V при измерениях, выполненных при различных направлениях АВ. Проблема, однако, в том, что практически реализовать метод натуральной синхронизации для пункта В невозможно.

Так как $(t^c{}_{AB}-t^c{}_{BA})/2=t^{\blacklozenge}{}_B-(t^c{}_П+t^c{}_И)/2$ и $t^c{}_{AB}+t^c{}_{BA}=t^c{}_П-t^c{}_И$, то, обозначив $t'=(t^c{}_П+t^c{}_И)/2$ и $r'=(t^c{}_П-t^c{}_И)/2$, из (3) получим

$$\text{а)}\ t'-t^{\blacklozenge}{}_B=-X^cV/c^2;\quad \text{б)}\ r'=R^c \qquad (1.62)$$

Это соотношение (с учетом $X^c = \gamma_V X$) отражает относительность одновременности, которая возникает как в случае использования ИПЭ (см. подраздел 1.5.2). Здесь t' – *значение, которое вычисляется* в пункте А по измеренным значениям $t^c_П$ и $t^c_И$, но приписывается согласно ИПЭ моменту достижения сигналом пункта В. Подставив в (60) выражение для t^c и R^c из (5), получим:

$$c(t'_В - t^c_И) = r',\ c(t^c_П - t'_В) = r' \qquad (1.63)$$

т.е. временной сдвиг (62) как раз компенсирует член $X^c V/c^2$ в (60), так что измеряемая скорость света оказывается изотропной.

Может возникнуть впечатление, что причиной неудачи является использование ИПЭ, так что надо найти процедуру синхронизации часов А и В, не опирающуюся на ИПЭ. Если экспериментатор это не может сделать, то он может установить часы ориентировочно, так что значение t^* в точке В будет иметь неизвестную ошибку Δ: $t^* = t^{\blacklozenge}_В + \Delta$, т.е. Тогда из (3) имеем:

$$t^*_{AB} = t^{\blacklozenge}_В - t^c_И R^c/c + X^c V/c^2 - \Delta,\ t^*_{AB} - t^*_{BA} = 2X^c V/c^2 + 2\Delta \qquad (1.63)$$

Это соотношение, конечно, не позволит найти V из одного эксперимента при неизвестном X^c. Однако, казалось бы, цель можно достичь в результате суточных измерений при изменяющемся значении X^c. Тем самым, в течение суток при вращении Земли с учетом $X^c = R^c \cos\psi$, где ψ - азимут АВ к абсолютной скорости движения V. Изменение ψ во времени известно с точностью до некоторой неизвестной величины азимута ψ_0 в момент установки часов в В. Поэтому, казалось бы, из многих наблюдений в течение суток на основе (64) можно найти три неизвестных параметра V, ψ_0 и Δ.

Увы, рассуждение в предшествующем абзаце неверно, так как Δ принципиально не сохраняет свое значение постоянным в течение суток. Как было показано в подразделе 1.5.2, значение t' соответствует тому значению $t^{\blacklozenge}_В$, которое покажут такие часы в пункте В, которые сначала были синхронизованы с часами в пункте А, а затем медленно перенесены в пункт В. Из рисунка выше видно, что в течение суток база АВ поворачивается на один оборот, в результате пункты А и В меняют свою скорость относительно эфира. В результате начальное Δ не сохранится, а изменятся так, что постоянным значением будет оставаться величина $t^{\blacklozenge}{}_{\text{В}}\text{-}t^{c}\text{=-}X^{c}V/c^{2}$. А этот приведет к тому, что скорость света будет одинаковой по всем направлениям (а ее значение будет ошибочным), так что определить V не удастся. Суть, в конечном счете, в том, что постулат о замедлении времени уже сам по себе физически порождают относительность одновременности при синхронизации часов путем их переноса. При этом ИПЭ – это инструментальное следствие первых двух постулатов ЭфСТО.

Соотношение (6) можно переписать в виде:

$$c(t^{\blacklozenge}{}_{\text{В}} - t^{c}{}_{\text{И}}) = r', \quad c(t^{c}{}_{\text{П}} - t^{\blacklozenge}{}_{\text{В}}) = r' \qquad (1.64)$$

Таким образом, из трех постулатов ЭфСТО следует, что

> в каждой ИСО скорость света одинакова по всем направлениям при ее измерении по каждому направлению раздельно, опираясь на величины, физически доступные в самой ИСО.

Этим придается физический смысл изотропии скорости света.

Эксперименты. Тем не менее, есть эксперименты, обнаружившие анизотропию скорости света.

В опыте (1973-1975г, Казахстан) использовались двое часов в пунктах А и В, передача сигнала между ними в одном направлении и измерение изменений времени прохождения сигнала в течение суток. Была определена скорость движения Земли в абсолютном пространстве, около 700 км/сек[1], т.е. вопреки изложенной выше невозможности в рамках СТО корректного получения такого эффекта. При этом в описании концепции опыта его авторы ошибочно утверждают, что начальное Δ должно оставаться постоянным в течение суток.

Ниже приведены два еще более впечатляющих опыта.

---

[1] В.П.Глушко и др. Эксперименты по измерению абсолютной скорости движения Земли. 3-я научно-техническая сессия по проблеме энергетической инверсии (ЭНИН). Тезисы докладов. Москва, 1975г. (http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8573.html).

Опыт с коаксиальными кабелями Де Витта (компания телекоммуникаций Бельгии, 1991г) производил эксперимент в течение более 178 дней. Ставилась задача синхронизации двух групп атомных часов на лучах цезия (по три в каждой группе), отдаленных на 1.5 км. Для этого сигналы 5 МГц посылались в обоих направлениях через два закопанных коаксиальных кабеля. Время движения сигнала между парами часов измерялось с помощью цифровых фазовых компараторов в пределах каждой группы, также при одностороннем распространении сигнала по обоим направлениям.

Эксперимент выполнялся более чем 178 дней, что позволило установить, что период этого эффекта привязан к сидерическим суткам. По мнению Р. Кахилла [25] результат этих и других опытов с кабелями дает единую картину. Кривые изменения времени движения сигнала по кабелю привязаны к сидерическому времени (на 3.93 минуты короче солнечных суток), скорость эфирного ветра 420±30 км/сек, направление движения примерно перпендикулярно эклиптике.

Результат опытов не может быть объяснен в рамках СТО.

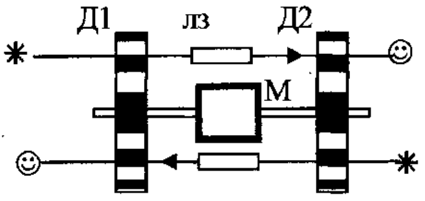
Эксперимент Маринова [21]. В этом эксперименте вообще не используются часы. С. Маринов[1] модифицировал опыт Физо по измерению скорости света так, что он стал опытом первого порядка, т.е. в опыте измеряется величина, пропорциональная V/c. В результате для модуля абсолютной скорости получено значение V = 362 ± 40 км/сек. При этом направление движения примерно совпадает с направлением ее движения относительно фонового реликтового излучения.

Маринов выполнил и ряд других опытов, в которых обнаружил анизотропию скорости света.

Схема, предложенная Мариновым, названа им "экспериментом со связанными затворами". Два источника ✳ обозначают разделенный на два направления луч от лазера. Приемники ☺ - фотодетекторы (см. ниже). По каждому направлению движение света происходит независимо. Для получения информации по ка-

---

[1] Стефан Маринов – директор и основатель института фундаметальной физики в г. Грац (Австрия), автор ряда экспериментов, направленных на опровержение СТО. Погиб в 1997г. при странных обстоятельствах.



ждому из направлений на вал мотора М насажаны два диска Д1 и Д2, в которых имеются отверстия. Расстояние между центрами отверстий и оси вала 12 см, а между дисками - 120 см.

Рассмотрим одно направление. Куски света, нарезанные первым вращающимся диском, проходят через второй вращающийся диск. Исходная настройка дисков с помощью линий задержки (ЛЗ) такова, что когда вал в покое, световой кусок, проходящий целиком через ближнее отверстие, освещает половину дальнего отверстия. При вращении дисков за время движения куска света до второго отверстия, оно изменит свое положение. С увеличением скорости вращения все меньше и меньше света пройдет через второе отверстие, если она "убегает" от порции света и, наоборот, все больше и больше света пройдет через нее, если она "прибегает" к порции.

Если за вторым диском каждого направления поставить чувствительный фотодетектор, то из разности генерируемых токов, измеряемой на гальванометре, можно определить проекцию абсолютной скорости лаборатории по направлению оси аппарата.

Из-за вращения Земли в течение суток измеренное значение v изменялось. Ось аппарата имела направление «север-юг». По измеренным за сутки максимальному и минимальному значениям v вычислялась величину и направление скорости эфирного ветра относительно звезд. Измерение также производились с 9-го по 13-е февраля 1984 г. в Граце (Австрия), причем замеры делались круглосуточно практически каждые два четных часа.

Эксперимент С. Маринова предполагает, что порции света, прошедшие по каждому из направлений к своему фотодетектору, различно оцененные с позиции ЭСО, породят в фотодетекторах токи в ИСО, пропорциональные этим порциям. С позиции СТО опыт должен дать отрицательный результат по той причине, что из-за относительности одновременности два вращающихся диска, разнесенные в пространстве, в разных ИСО будут наблюдаться в разных угловых положениях, т.е. скрученными.

В [14] в отношении опыта С. Маринова без комментария утверждается, что схема обработки сигналов на фотоприемниках была настолько несовершенна, что результаты опытов нельзя рассматривать как достоверные, а эффект релятивистского скручивания вала не упоминается.

При этом в [14] утверждается, что есть два способа синхронизации процессов и часов: механически, как в опыте Маринова, и с помощью фазовой скорости распространения света (или электронных пучков), например, с помощью удаленного пульсара.

Альтернативы. Что же означают эти эксперименты? Либо они некорректно организованы (или данные неверно обработаны); либо, как считают их авторы, СТО несостоятельно.

Попробуем отнестись к результатам рассмотренных экспериментов с доверием. Это означало бы, что СТО в чем-то действительно несостоятельно. Чем можно пожертвовать, в основном сохранив СТО. Можно предположить, что СТО строго выполняется только для процессов в вакууме для событийных явлений. В этом случае сохраняется событийная относительность, преобразования Лоренца и инвариантность интервала. Электродинамика в вакууме тоже сохраняет свою силу, как и все другие релятивистские теории, которые не исследуют законы твердых тел, жидкостей и газов, для которых возможны другие закономерности.

Так в [25] утверждается, что оптоволокно в отличие от коаксиального кабеля ведет себя так, как будто скорость света в нем не зависит от его движения относительно эфира. Поэтому его можно использовать для синхронизации разнесенных часов в движущейся ИСО. Причина этого неясна. «Все, что мы имеем - то, что волокна и коаксиальные кабели реагируют по-другому».

Также в [25] утверждается, что газовая среда на пути светового луча в интерферометре Майкельсона изменяет физику его работы, в результате исход опытов Майкельсона-Морли и Миллера трактуется как положительный.

Действительность такова, что «... значительное число специалистов во всем мире заняты поисками фактов, экспериментальных и теоретических, которые могли бы .... нет, не опровергнуть ее (СТО), это было бы слишком наивно, а найти границы ее применимости. Пока эти усилия успехом не увенчались[1]». Впрочем, возможно, что кое-что появляется.

---

[1] К. Злосчастьев. «Эфир возвращается?», Наука и жизнь, №2, 2007г.

2. ПОДХОД ЭЙНШТЕЙНА (ЭйнСТО)

Только в работе Эйнштейна появилась теория относительности в классическом понимании слова «теория».

И. Ю. Кобзарев

Отказ от абсолютного времени является особенно радикальным выводом (им мы обязаны Эйнштейну).

В. Л. Гинзбург

Никак в голове не укладывается, что надо применять такие совершенно абстрактные рассуждения и понятия для объяснения явлений природы.

В. Рентген

2.1. Обсуждение исходных положений ЭйнСТО

2.1.1 Постулаты ЭйнСТО

1. Постулат относительности. Существуют две его формулировки: физическая и математическая.

Физическая формулировка: все явления (механические, оптические и др.) во всех ИСО протекают одинаково при одинаковых условиях.

Упрощенно говоря, это означает, что если в некоторой ИСО имеем некоторое явление, то в любой другой ИСО может быть организовано ему *идентичное*, в котором участвуют *идентичные* тела, силы, поля и начальные состояния. Явление в каждой ИСО должно быть изолировано от тех сил и полей, которые не являются внутренними для этой ИСО (предметом исследования). При этом в каждой ИСО нельзя своими средствами установить его движение относительно других ИСО без информационного взаимодействия с ними. В конечном счете, это означает, что все ИСО физически *равноправны.* Это, по существу, исходно отвергает возможность измерения скорости движения относительно эфира.

Такая формулировка постулата достаточна для того, чтобы, не вникая в содержание законов, управляющих тем или иным явлением, объяснять отрицательные результаты опытов по обнаружению абсолютного движения Земли в пространстве.

Математическая формулировка:

физический закон должен быть выражен в инвариантной форме, т.е. не зависеть от выбора ИСО.

Ясно, что конкретная реализация явления, заданная своим описанием в К-системе, будет иметь другое описание в К'-системе. Но из равноправия ИСО следует, что физический закон для конкретного класса явлений, должен описываться во всех ИСО одними и теми же соотношениями (уравнениями) между физическими величинами, характеризующими явления данного класса.

Конкретный смысл понятие форминвариантности закона природы приобретает лишь в том случае, если а) во всех ИСО определены сопоставимые (физически эквивалентные) координатные сетки и б) в их рамках определена *группа преобразований*, с помощью которой осуществляется пересчет значений физических величин, измеренных в К-системе, в их значения, измеренные в К'-системе. Именно эти условия определяют идентичность явления в разных ИСО. Эту группу преобразований можно непосредственно постулировать, как это сделано в МинСТО (см. главу 3). Но ЭйнСТО ставит задачу выявить эту группу преобразований из своих постулатов, каковыми оказываются ПрЛ.

Физическая формулировка принципа относительности ЭйнСТО по существу распространила принцип относительности Галилея на любые явления. Но ЭйнСТО заменила группу преобразований, которые обеспечивают инвариантность формы законов природы (Лоренц-инвариантность). При этом физическая формулировка шире математической, так как вторая отражает лишь способ описания.

Постулат постоянства скорости света (II-постулат). Он имеет следующую типичную формулировку [7, с.35]:

свет в вакууме распространяется с определенной скоростью, равной $\underline{c}$, которая не зависит от скорости источника и в каждой ИСО одинакова по всем направлениям.

«В вакууме» означает в отсутствии вещественной среды.

Однако на уровне постулатов понятия, которые положены в основу независимого измерения длины и времени, что необходимо для расчета скорости, в ЭйнСТО не определены. Поэтому, казалось бы, «…ниоткуда не следует, что скорость света в одном направлении должна быть равна скорости света в противоположном направлении» [2, с. 38].

Независимость скорости света от движения источника создает впечатление о ее *физической* несовместимости с принципом относительности. Казалось бы, для обеспечения относительности все взаимодействия должны определяться только относительными положениями тел и их относительными скоростями, но световой сигнал при этом следует не баллистической гипотезе, а как-то ухитряется иметь постоянную скорость, которая не зависит от движения источника. Т.е. движение света как-то опирается на абсолютное пространство. Отвергнем мы эфирную среду или нет, но неотъемлемое свойство среды, проявляющееся в независимости распространения света от движения источника, реально имеет место и постулировано. Это означает, что новый принцип относительности должен исхитриться обосновать «относительное» через дающее о себе знать «абсолютное».

А. Эйнштейн ввел положение о независимости скорости света от движения источника до экспериментального подтверждения факта, опираясь на эфирные представления.

Чтобы при изложении СТО проиллюстрировать новый взгляд на пространство и время предварительно в качестве «наводки» излагают эйнштейновскую процедуру синхронизации часов световым сигналом (ИПЭ). При этом сама процедура по определению создает постоянство скорости света. В условиях независимости скорости света от движения источника это порождает относительность одновременности.

В литературе по СТО внимание акцентируется на синхронизации часов на базе соотношений (1.19) или (1.21) без совместного предъявления пары (1.19)-(1.20). А это «скрывает» неизбежность «постоянства скорости света».

Чтобы математически выразить II-постулат рассматривают следующую мысленную ситуацию. В момент $t=0$ из начальной точки O K-системы испущен световой сигнал, тем самым, он также испущен из начальной точки O' системы K'. Тогда световая волна должна быть сферической в обеих ИСО:

а) $c^2t^2-x^2-y^2-z^2=0$: $\Leftrightarrow$ б) $c^2t'^2-x'^2-y'^2-z'^2=0$. (2.1)

При таком подходе возникает вопрос: является ли с позиции ЭйнСТО постоянство скорости света законом природы или соглашением. Обычно считается, что А. Пуанкаре явно настаивал на конвенциональной сущности понятия одновременности. Эйнштейн, тоже был близок к такому пониманию.

Так в работе 1916г. «О специальной и общей теории относительности (общедоступное изложение)» он писал: «Утверждение, что свет проходит расстояния AM и MB за одно и тоже время, в действительности не является *предпосылкой* или *гипотезой* о физической природе света, а *утверждением*, которое можно сделать на основании свободного выбора, чтобы прийти к определению одновременности».

В целом может создаться впечатление, что II-постулат содержит в себя физическую составляющую (подтвержденную экспериментами независимость скорости света от движения источника), идущую от эфирных представлений, и согласительную составляющую (равенство скорости света во всех направлениях во всех ИСО). Эта неоднозначность смысла II-постулата порождает вопросы типа: «это на самом деле или кажется?». Но странно было бы представить, что только принцип относительности и *некое соглашение* (!) о синхронизации часов могут быть причиной различных реально наблюдаемых эффектов, в которых процедура синхронизации часов технически не производится (например эффект Доплера, парадокс близнецов).

Поэтому II-постулат в ЭйнСТО должен восприниматься как *физический закон*, а ИПЭ – как его следствие. Но здесь тоже не все гладко, ведь с позиции ЭйнСТО принципиально нельзя измерить скорость света в конкретном направлении, так как для этого надо предварительно выполнить синхронизацию часов независимым от ИПЭ способом. «Строго говоря, из опыта Майкельсона-Морли и последующих аналогичных опытов не следует вывод о постоянстве скорости света. Из них следует вывод о том, что средняя скорость света в противоположных направлениях в данной инерциальной системе координат одинакова, и нельзя сделать заключения о постоянстве скорости света в различных направлениях» [5, с.73]. Тем самым,

> *ЭйнСТО постулирует объект со свойством, которое принципиально нельзя проверить.*

Создается впечатление, что формулировка II-постулата в ЭйнСТО некорректна, так как не имеет физического содержания; соответственно его не имеет и соотношение (1). Пусть бы ЭйнСТО постулировала, что скорость света одна и та же во всех направлениях, если ее измерять на пути «туда и обратно и, тем самым, только на таких измерениях и должна базироваться физика».

Постулат однородности-изотропности. Так для краткости будем называть 3-ий постулат ЭйнСТО, иногда явно не заявляемый, но подразумеваемый:

> в каждой ИСО пространство однородное и изотропное, а время - однородное.

Из постулата однородности-изотропности делают вывод, что *преобразования координат события должны быть линейными* [5, с.79]. Важно обратить внимание на то, что при этом используются линейные преобразования общего вида, в частности, временная координата в K'-системе записывается в виде $t'=at+bx+\ldots$, т.е. зависит от времени t с некоторым коэффициентом, а также от пространственных координат в K-системе. Эти $a\neq1$ и $b\neq0$ изначально порождают соответственно эффект замедления времени и *относительность одновременности.* Получается, что пространство и время становятся «канатными плясунами» лишь на основе их однородности и изотропности.

Задача вывода преобразования координат события:

> найти удовлетворяющее постулатам ЭйнСТО преобразование координат произвольного события при переходе из одной системы отсчета в другую.

Предполагая, что преобразования координат являются линейными преобразованиями общего вида, определяют такие значения коэффициентов этих преобразований, которые обеспечивают (1) и принцип относительности. То обстоятельство, что коэффициенты надо точно определить, говорит о том, что речь не идет о свободном выборе масштабов в разных ИСО, а о том, что под покровом однородности-изотропности неявно постулированы замедление времени и относительность одновременности.

ЭйнСТО, таким образом, исходно постулирует некие абстрактные свойства природы, которые на этапе их постулирования нельзя наглядно представить и, тем самым, трудно понять. При этом ставится задача совместить эти свойства в виде линейных преобразований координат события при переходе от одной ИСО к другой. При этом математические условия, связанные с принципом относительности, привлекаются по ходу вывода.

В целом создается впечатление, что «…такой подход к построению теории относительности неоднозначен и несколько формален, поскольку с самого начала не анализируется, что такое расстояние между точками пространства, да и понятие времени связано с определенной синхронизацией часов» [2, с. 37].

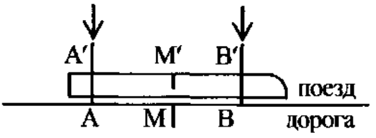
Можно было бы счесть сказанное выше, что ЭйнСТО получает свои результаты методом «математических ухищрений», а «простота» ее исходных положений из числа тех, что «хуже воровства». И это не будет преувеличением, так как в результате все-таки оказывается, что все эти ухищрения не достигают цели: из постулатов ЭйнСТО нельзя корректно получить преобразования Лоренца. Этот вопрос рассмотрен в разделе 2.2.

2.1.2 Неофит, поезд и молнии

Поезд и молнии. Уделим еще внимание вопросу о трудности понимания II-постулата для начинающего изучать СТО («Неофита») на примере мысленного эксперимента (МЭ) с поездом и молниями, предложенного А. Эйнштейном для иллюстрации относительности одновременности [1, с.150].

В этом МЭ правило определения одновременности двух событий используется в таком виде: события одновременны, если они произошли на равных расстояниях от наблюдателя, и сигнал от них пришел одновременно к нему.

Содержание МЭ. На полотне дороги в точке М стоит обходчик. Ударили две молнии и оставили следы на дороге в точках А и В, причем АМ=МВ. При этом оказалось, что сигналы от молний *пришли* к обходчику одновременно. Согласно принятому правилу это означает, что *удары молний были одновременными* в ИСО обходчика. Одновременны ли эти молнии также в ИСО поезда?



СТО дает ответ: не одновременны

Рассуждения в СТО. Молнии ударили также по движущемуся вагону в точках А' и В'. Пусть пассажир в вагоне поезда в момент одновременного *удара молний* с позиции обходчика (а не в момент прихода сигналов от молний к обходчику!) находился в точке М' посреди между А' и В', т.е. А'М'=М'В'. За время пока сигналы от молний с конечной скоростью шли в системе обходчика навстречу друг другу, поезд прошел некоторый путь вправо, т.е. будет АМ'>М'В. Это означает, что в точке М' к пассажиру сигналы от молний придут не одновременно: сигнал справа придет раньше, чем сигнал слева. Тем самым, пассажир в соответствии с соглашением должен будет считать, что *удары молний* в ИСО поезда не были одновременными, так как расстояния от него до следов молний равны (А'М'=М'В'), а сигналы к нему в точку М' пришли не одновременно.

Дискуссия с Неофитом (вопросы Неофита в кавычках и курсивом).

«*Непонятно, почему пассажир опирается на то, что расстояния А'М' и М'В' равны. Ведь он должен понимать, что А' и В' – это не сами события, а следы на поезде, которые были оставлены когда-то ранее моментов прихода сигналов от них, и пути, пройденные сигналами от них не равны?*»

Каждый наблюдатель действует автономно в своей ИСО без оглядки на другие ИСО и наблюдателей в них. Он может реально проверить линейкой, что следы молний на теле его ИСО (поезде) равны: А'М'=М'В'.

Системы отсчета обходчика и пассажира в силу принципа относительности равноправны. Если бы мы изначально заявили обратное, что молнии ударили одновременно в ИСО пассажира, то те же рассуждения привели бы к выводу, что они ударили не одновременно в ИСО обходчика.

«*А как мы узнаем, где молнии фактически ударили одновременно?*»

Такого понятия как «фактически» независимо от рассматриваемых ИСО нет. В конкретном реализованном явлении это зависит от того, как фактически распорядится Природа, или как мы сами организовали эксперимент. Например, если мы хотим, чтобы удары молний были одновременны в ИСО обходчика, то надо так подобрать моменты ударов молний в точках А и В, чтобы сигналы от них пришли одновременно к обходчику. При этом в точках А и В часы будут показывать одно и то же время более раннее, чем время прихода сигналов к обходчику на величину АМ/с=ВМ/с. Это требует механизм синхронизации часов в ИСО вагона.

В ИСО пассажира мы синхронизируем часы на основе аналогичного, но другого эксперимента, в котором мы так подбираем вспышки молний в точках A' и B', чтобы сигналы от них пришли одновременно к пассажиру в точке M'. Но это два автономных процесса синхронизации. Никакого «фактически иного», не связано с тем, что измеряют наблюдатели, нет. По существу, мы в каждой ИСО настраиваем часы так, чтобы в этой ИСО скорость света была равна c.

«Значить получается, что в мире по сравнению с нашими обычными кинематическими представлениями «физически» как бы ничего не изменилось, а относительность одновременности появилась в силу соглашения о способе синхронизации часов автономно в каждой ИСО. Мне трудно понять, что же в СТО реально, а что кажется. И как такое соглашение может творить такие явно физические эффекты, как замедление времени у брата-путешественника?».

В постулатах не надо сомневаться, их нужно принять, как физические законы. Мы потому так настраиваем часы, что постоянство скорости света физический закон. Принцип относительности совместно с II-постулатом предопределяют определенные физические эффекты. Независимо от того, есть реально часы в каждой ИСО или нет, для наблюдателя в каждой ИСО, который опирается на такую синхронизацию, законы физических процессов могут быть сформулированы одинаково, если бы в каждой точке каждой ИСО были часы, синхронизованные в соответствии с данным правилом. Поэтому само правило синхронизации есть следствие II-постулата. Демонстрация эффекта близнецов требует отдельного рассмотрения и, прежде всего, вывода ПрЛ.

«Если свет в ИСО пассажира независимо от движения поезда имеет одну и ту же скорость в обоих направлениях, то из того, что измеренные пассажиром расстояния равны, то пассажир в точке M' должен принять эти сигналы одновременно».

Если события произошли на равных расстояниях, и сигнал от них пришел одновременно, то события произошли одновременно. Но из того, что два события произошли на равных расстояниях, не следует, что сигнал от них к пассажиру должен прийти одновременно.

«Может и логично, но с трудом доходит. У меня создается впечатление, что внутри вагона как бы имеется собственная неподвижная среда распространения света, а в системе обходчика – своя. Коль скоро каждая ИСО должна быть замкнутой, то эфир относительно нее не должен двигаться».

Это неверно. СТО имеет в виду нечто другое: а) нет никакой среды в каждой из ИСО и б) одно и тоже событие (встреча сигналов от ударов молний) не может происходить в разных точках физического пространства, как это предполагает Ваше толкование постоянства скорости света, основанное на существовании эфира и его увлечении каждой ИСО.

«Все равно что-то я не улавливаю. Если принцип относительности означает равноправие ИСО, и в каждой ИСО часы синхронизованы, то из него должно

следовать, что одновременные события в одной ИСО будут одновременны и в другой, коль скоро расстояния до них равны в обеих ИСО».

Равноправие систем не означает их тождественность по отношению к каждому явлению. Одно и то же явление выглядит по-разному в разных ИСО. Равноправие ИСО означает, что ситуацию одновременного удара молний можно создать в любой желаемой ИСО, и при этом в другой ИСО будет соответственно идентичное неодновременное наблюдение.

Очень запутанное дельце...

Увы! Даже в наши дни рассуждения подобного рода порой воспринимаются столь серьезно, что СТО «отвергается на корню»[1].

2.2. Некорректность вывода ПрЛ

Академик А.А. Логунов считает, что постулаты ЭйнСТО не позволяют корректно получить ПрЛ для произвольных типов событий. В данном подразделе показана некорректность типовых выводов ПрЛ, используемых в литературе по ЭйнСТО.

2.2.1 Некорректность «оригинального метода»

Роль инвариантности интервала. Важным понятием в СТО является пространственно-временной интервал (интервал) между двумя событиями, который является инвариантом ПрЛ, т.к. значение интервала для каждой конкретной пары событий одно и то же во всех ИСО:

$$s_{12}^2=c^2(t_2-t_1)^2-(x-x_1)^2-(y-y_1)^2-(z-z)^2=\text{inv}. \qquad (2.2а)$$

Это принципиально важное свойство пространства-времени. В частности, без опоры на инвариантность интервала не может быть доказана инвариантность собственного времени движущихся часов $dt^c=\chi_v dt=\text{inv}$. Инвариантность интервала является основой для псевдоевклидовой геометрии пространства-времени.

Если одно из двух событий является начальным ($t_1=x=y_1=z_1=0$), то для произвольного второго события

$$s^2=c^2t^2-x^2-y^2-z^2=\text{inv}. \qquad (2.2б)$$

Существенно, что из (1) не следует (2а), так как из равенства двух выражений, равных нулю, не следует их равенство для произвольных значений, не равных нулю.

[1] Л.А. Калинин. Кардинальные ошибки Эйнштейна. -М.: URSS, 2003.

В ЭфСТО инвариантность интервала выведена непосредственно из его постулатов (см. подраздел 1.5.1).

«Оригинальный метод» вывода инвариантности интервала. Так как из инварианта (2) можно вывести ПрЛ (см. подраздел 2.2.3), то данный метод ставит задачу сначала доказать (2). Так В. Паули [4, с.19] из того, что (1,а) влечет за собой (1,б), утверждает: «это «возможно в силу линейности преобразования только, если

$$(c^2t'^2-x'^2-y'^2-z'^2)=\varepsilon(c^2t^2-x^2-y^2-z^2), \qquad (2.3)$$

где ε - постоянная, зависящая от v». Далее путем дополнительных рассуждений, базирующихся на принципе относительности, делается вывод, что ε=1.

Проверим, насколько ссылка В. Паули на линейность преобразований оправдывает (3). Пусть

$$x'=\gamma(x-vt),\ t'=ax+bt\ ,\ y'=y,\ z'=z\ . \qquad (2.4)$$

Подставив в (1б) выражения для x', y', z' и t' из (4), получим

$$c^2t'^2-x'^2-y'^2-z'^2=(c^2b^2-v^2\gamma^2)t^2-(\gamma^2-c^2a^2)x^2-y^2-z^2+2(v\gamma^2+c^2ba)xt$$

Отсюда видно, что правая часть не имеет вид $\varepsilon(c^2t^2-x^2-y^2-z^2)$, т.е. соотношение (3) не обосновано.

В [6, с. 130] переход от (1) к (3) обосновывается несколько иначе. Дается *определение* интервала между двумя произвольными событиями (а не только для отправления и прихода светового сигнала) и определяют дифференциал для s^2 как в (2а). Далее идет такое рассуждение:

«если ds=0, то в другой ИСО ds'=0. С другой стороны, ds и ds' - бесконечно малые одинакового порядка. Из этих двух обстоятельств следует, что ds^2 и ds'^2 должны быть пропорциональны друг другу: $ds^2=\varepsilon ds'^2$».

Далее показывают, что ε=1, а из $ds^2=ds'^2$ и делают вывод, что $s^2=s'^2=\mathrm{inv}(v)$. Тут для перехода от (1) к (2) обошлось уже без ссылки на линейность преобразований.

Этот «оригинальный» метод тиражировался также и в учебную литературу. Так в [7, с.56] рассуждения примерно те же. Однако запись $ds^2=\varepsilon ds'^2$ сопровождается признанием: «Действительно, *никаких условий на связь между интервалами ds и ds' произвольных событий у нас нет*, а для событий частного вида – приема и отправления сигнала – связь должна быть именно такой». Что-то вроде: если нельзя, но очень хочется, то можно.

А.А. Логунов отрицает корректность таких доказательств инвариантности интервала:

«*...соотношение (3) – это приравнивание двух выражений, равных нулю. Поэтому отсюда могут быть получены преобразования Лоренца, но* *только на световом конусе... Позднее эта 'оригинальная' операция приравнивания двух величин, равных нулю, будет использована в книге Л.Д. Ландау и Е.М. Лившица 'Теория поля' (М:, Наука, 2001, §2) с целью установить, что выражение одинаково во всех инерциальных системах отсчета. Но таким путем этого доказать нельзя. Поэтому их вывод ошибочен»* [3, с.44].

Вот «такая загогулина получилась»: применен некорректный переход от частного случая отношений между двумя событиями с нулевым интервалом на события с интервалом других типов.

2.2.2 Ошибки при выводе ПрЛ из постулатов

Ниже рассмотрены типовые выводы ПрЛ, которые не опираются на инвариантность интервала, и показана их некорректность.

Ошибка П. Бергмана. В [15,с. 54] рассуждения ориентированы на базовое семейство систем отсчета. Принимается $y'=y$ и $z'=z$. Так как точки пространства К'-системы, движутся в направлении оси X со скоростью v относительно К-системы, то показано, что первое из уравнений преобразования должно иметь вид $x'=\gamma(x-\mathrm{v}t)$, где γ - искомый коэффициент в функции от v. Преобразование для времени принимается в виде линейной формы от x и t. В целом преобразование r-координат и времени события предлагается искать в виде (4). В (1,б) подставляются выражения для x', y', z' и t' из (4). Затем, собирая однородные члены, получают уравнение:

$$(c^2b^2-\mathrm{v}^2\gamma^2)t^2-(\gamma^2-c^2a^2)x^2-y^2-z^2+2(\mathrm{v}\gamma^2+c^2ba)xt=0. \qquad (2.5)$$

И тут П. Бергман утверждает, что «это уравнение переходит в (1,а) только в том случае, когда коэффициенты при x^2 и t^2 в уравнениях (5) и (1,а) равны, а коэффициент при xt в (5) исчезает». Далее решая систему трех полученных таким путем соотношений для трех коэффициентов γ, a и b, находят их выражения через v и, тем самым, получают ПрЛ.

Но такое сопоставление выражений при x^2, t^2 и xt *некорректно*. Оно было бы корректно, если бы равенство левых частей сопоставляемых уравнений выполнялось при любом значении правых частей, т.е. при доказанном (2). Но это и есть проблема.

Заметим, что если из (1,а) выразить y^2+z^2 и подставить его в (1,б) вместо $y'^2+z'^2$, то получим $c^2t'^2-x'^2-c^2t^2+x^2=0$. Если теперь сюда подставить x' и t' из (4), то получим: $(c^2b^2-v^2\gamma^2-1)t^2-(\gamma^2-c^2a^2+1)x^2+2(v\gamma^2+c^2ba)xt=0$.
Здесь также нельзя приравнять нулю коэффициенты при t^2, x^2 и xt, так как t и x уже зависимы – они связаны ограничением $y'=y$ и/или $z'=z$.

Ошибка А.Н. Матвеева, В.А. Угарова, А. Эйнштейна и др.

Рассмотрим вывод ПрЛ, который широко используется в учебной литературе, в том числе для студентов физических специальностей вузов [5], [7]. Представим этот вывод конспективно в виде следующих шагов [5, с.78]:

1. На основе постулата об однородности-изотропности записываются искомые преобразования в форме линейных преобразований общего вида.

2. Рассматривается базовое семейство систем отсчета. Показано, что поскольку оси X совпадают, то из принципа относительности для координат y и z должны иметь место преобразования:

$$y'=y,\ \ z'=z. \qquad (2.6)$$

Утверждается, что «поскольку переменные y и z преобразуются отдельно, то переменные x и t могут быть связаны линейным преобразованием только друг с другом».

3. Показано, что из принципа относительности можно заключить, что

$$\text{а) } x'=\gamma(x-vt) \quad \Leftrightarrow \quad \text{б) } x=\gamma(x'+vt'), \qquad (2.7)$$

где γ - неизвестный коэффициент, причем один и тот же для (а) и (б). Он должен быть четной функцией от скорости: причем $\gamma(v)=\gamma(-v)$.

4. «Распространение света в системах K и K' описывается равенствами

$$x=ct,\ \ x'=ct', \qquad (2.8)$$

в которых учтено, что в обеих системах скорость имеет одно и то-же значение c». Подставив эти равенства последовательно в (7,а) и (7,б), получим:

$$(а):\ ct'=\gamma t(c-v) \ \text{ и } \ (б):\ ct=\gamma t'(c+v). \qquad (2.9)$$

Перемножив левые части (9а, б) и их правые части, после сокращения tt' получим значение искомого γ:

$$\gamma=\gamma_v,\ \text{где } \gamma_v=\gamma(v)=(1-v^2/c^2)^{-1/2}. \qquad (2.10)$$

5. Из равенств (7,а) и (7,б) можно исключить x' и получить преобразование для t':

$$t'=\gamma(t\text{-}kx/v),\ \text{где}\ k=1\text{-}1/\gamma^2. \qquad (2.11)$$

Подставив значение γ из (10) в (7,а) и (11), получим совместно с (6) искомые преобразования Лоренца (1.43):

$$x'=\gamma_v(x\text{-}vt), \quad t'=\gamma_v(t\text{-}xv/c^2), \quad y'=y,\ z'=z. \qquad (2.12)$$

Рассмотренный вывод ПрЛ *некорректен* по следующей причине. Хотя переменные x и t могут быть связаны линейным преобразованием только друг с другом, но это не дает основания использовать (8), так как проекция скорости света на ось X при $y\neq0$ или $z\neq0$ не равна $\underline{c}$. Вместо (8), казалось бы, надо использовать $x=ct\cos\theta,\ x'=ct'\cos\theta'$.

Формально неправомочность (8) в условиях (1) видна из следующего рассуждения. Из (1) при $y\neq0$ или $z\neq0$ следует

$$c^2t^2\text{-}x^2=y^2+z^2\neq0\ \text{ и }\ c^2t'^2\text{-}x'^2=y'^2+z'^2\neq0, \qquad (2.13)$$

А так как из (8) следует $c^2t^2\text{-}x^2=c^2t'^2\text{-}x'^2=0$, то ясно, что (13) при $y\neq0$ или $z\neq0$ не выполняется, т.е. (8) противоречит (1).

Заметим, что использование (8) для получения (9) было бы правомерно, если бы имело силу (2б), так как при этом все координаты действительно независимы и (8) дает $y^2+z^2=y'^2+z'^2\neq0$. Однако доказательство (2) и есть проблема.

В работе А. Эйнштейна 1905г. при выводе ПрЛ также некорректно объединяются частные случаи для (x, t) и (y, z) на общий случай. При этом он ограничивается доказательством того, что из сферичности фронта световой волны в K следует ее сферичность в K', т.е. выполнение (1). Однако из этого можно сделать лишь вывод о том, что полученные ПрЛ применимы для событий на световом конусе (нулевой интервал), но не следует их применимость для событий с интервалами других типов.

Однако в Приложении 1 к работе 1916 г. («О специальной и общей теории относительности») после раздельного вывода преобразований для (x,t) и (y,z) Эйнштейн считает необходимым показать, что «при этом постулат постоянства скорости света остается в силе для световых лучей любого направления». При этом он показывает инвариантность интервала описанным выше «оригинальным методом»: исходя из (1), сначала без объяснения записывает (3), откуда доказывает (2).

Распространение света под углом к оси X. Так как оказалось, что результат анализа движения света вдоль оси X некорректно распространять на общий случай его движения под углом к оси X, то рассмотрим этот общий случай. Системы K и K' принадлежат базовому семейству ИСО.

Пусть в K-системе в момент t=0 произошло излучение светового сигнала в плоскости XY под углом θ к оси OX. В момент t он достигнет некоторой точки с координатами x=c$t$$cos$θ, y=c$t$$sin$θ. В K'-системе этот же сигнал движется от начала координат под углом θ' и *достигает той же точки пространства* в момент t' по K'-часам (t'≠t). Тем самым, координаты этой точки в K'-системе равны x'=c$t'$$cos$θ', y'=c$t$$sin$θ'. Неравенство t'≠t определяет эффект Доплера, а неравенство θ'≠θ - аберрацию (преломление светового луча при переходе из одной ИСО в другую). Таким образом, имеем:

$$x=\mathrm{c}t\,cos\theta,\ y=\mathrm{c}t\,sin\theta,\ x'=\mathrm{c}t'cos\theta',\ y'=\mathrm{c}t\,sin\theta',\ y'=y. \qquad (2.14а)$$

Исключив из (14а) θ, θ', y и y', получим тот же результат, если из пары (1а, б) исключить y' ввиду y'=y:

$$\mathrm{c}^2t'^2-x'^2=\mathrm{c}^2t^2-x^2=y'^2=y^2. \qquad (2.14б)$$

Заметим, что (14а) отражают ситуацию внутри каждой ИСО, а (14б) показывает, что при y'=y величина $\mathrm{c}^2t^2-x^2$ является инвариантом для светового сигнала. При этом видно, что (8) является частным случаем для (14б) при y'=y=0. Чтобы учесть движение K'-системы возьмем преобразования пространственных координат в виде (4):

$$x'=\gamma(x-\mathrm{v}t),\quad x=\gamma(x'-\mathrm{v}t') \qquad (2.15)$$

и, подставим x' в (14б) из (15), получим:

$$\mathrm{c}^2t'^2=\gamma^2(x-\mathrm{v}t)^2+\mathrm{c}^2t^2-x^2; \qquad (2.16)$$

Подставим в (16) x=c$t$$cos$θ:

$$t'^2=t^2[\gamma^2(cos\theta-\mathrm{v/c})^2+sin^2\theta]=t^2\gamma^2[(cos\theta-\mathrm{v/c})^2+(1-\mathrm{v}^2/\mathrm{c}^2)sin^2\theta]=t^2\gamma^2[1-(\mathrm{v/c})cos\theta]^2,$$

т.е. $$t'=t\gamma[1-(\mathrm{v/c})cos\theta]. \qquad (2.17)$$

Аналогичные рассуждения, но с позиции K'-системы в роли неподвижной, дают

$$t=t'\gamma\,[1+(\mathrm{v/c})cos\theta']. \qquad (2.18)$$

Исключив t и t' (17а) и (18б), получим

$$\gamma^2=1/[1+(\mathrm{v/c})cos\theta'][1-(\mathrm{v/c})cos\theta]. \qquad (2.19)$$

Соотношение (17) определяет связь $t'=f_t(t, \theta, \gamma)$, т.е. эффект Доплера, а соотношения (19) определяет связь $\theta'=f_\theta(\theta, \gamma)$, т.е. аберрацию. При этом

из (17) и (19) для произвольного угла θ нельзя найти значение γ, т.е. f_t и f_θ определяются неоднозначно.

Для частных случаев движения сигнала из (17) имеем:

а) $\theta=0$ - продольный эффект:

$$t'=\gamma t(1\text{-}v/c),\quad \gamma^2=1/(1\text{-}v/c)[1+(v/c)cos\theta']; \qquad (2.20а)$$

б) $\theta=\pi/2$ - поперечный эффект:

$$t'=\gamma t,\ \gamma^2=1/[1+(v/c)cos\theta']. \qquad (2.20б)$$

Как в общем случае, так и для частных случаев $\theta=0$ и $\theta=\pi/2$, использование (17) и (19) формально не позволяет определить значение γ, так остается неизвестное θ'.

Однако при $\theta=0$ можно полагать, что при переходе сигнала из K-системы в K' аберрация не возникнет, т.е. $\theta=0 \Rightarrow \theta'=0$. Поэтому из (17) и (18) для $\theta=\theta'=0$ имеем:

$$[t'=\gamma t(1\text{-}v/c) \rightarrow t=\gamma t'(1+v/c)] \Rightarrow t'=t[(1\text{-}v/c)/(1+v/c)]^{1/2}. \qquad (2.21а)$$

Таким образом, в данном частном случае формула для продольного эффекта Доплера получена. Заметим, что полученный *результат* (21а) *имеет силу для любого* γ, т.с. безотносительно к тому, как определяется расстояние в (15).

Тем не менее, из (20а) для $\theta'=0$ так же, как и при выводе ПрЛ по Матвееву А.Н, исключая tt', получим:

$$\gamma=\gamma_v. \qquad (2.21б)$$

Это частное значение $\gamma=\gamma_v$ можно применить к (15) и получить преобразование координат для событий на оси X.

Этот шаг вызывает «неприятное ощущение». В самом деле, анализируется конкретное явление - продольный эффект Доплера. Из (21а) видно, что сам этот эффект не зависит от значения коэффициента γ, который был введен в (15) для преобразования x-координаты (на это также обращалось внимание в подразделе 1.2.1). Но при делении на tt' в (21б) получено конкретное значение $\gamma=\gamma_v$. Поэтому уже на этом этапе создается впечатление о какой-то неоднозначности и не очевидности использования такого $\gamma=\gamma_v$ для общего случая.

Объединение же этого частного решений для (x, t) с отдельно найденным решением для (y,z) возвращает нас к некорректному методу А.Н. Матвеева, так как в силу (1) пространственные координаты связаны с t.

Эффект Доплера и аберрация. При $\gamma=\gamma_v$ соотношения (17) и (18) для эффекта Доплера принимают вид:

$$t'=\gamma_v t\,[1-(v/c)cos\theta],\ t=\gamma_v t'\,[1+(v/c)cos\theta']. \qquad (2.22)$$

Откуда $(1-v cos\theta/c)(1+v cos\theta'/c)=1-v^2/c^2$ и, тем самым,

$$cos\theta'=(cos\theta-v/c)/(1-v cos\theta/c). \qquad (2.23а)$$

Это (23а) тождественно соотношениям [4, с.38]:

$$sin\theta'=\chi_v sin\theta/(1-v cos\theta/c); \qquad (2.23б)$$

$$tg\theta'=\chi_v sin\theta/(cos\theta-v/c); \qquad (2.23в)$$

$$tg(\theta'/2)=[(1+v/c)/(1-v/c)]^{1/2}tg(\theta/2). \qquad (2.23г)$$

В частности, для поперечного эффекта Доплера и связанной с ним аберрацией (20б) и (19) получаем:

$$\boxed{t'=\gamma_v t},\quad tg\varphi'=\chi_v v/c. \qquad (2.24)$$

Строго говоря, эти соотношения, как и сами ПрЛ, мы не должны считать корректными в рамках постулатов ЭйнСТО. Но они корректны в версии ЭфСТО, в которой корректно показана инвариантность интервала и ПрЛ.

2.2.3 Проблема интервала

Вывод ПрЛ из инвариантности интервала. В [3, с.41] приводится следующий вывод ПрЛ, опираясь на инвариантность интервала. Этот вывод здесь воспроизведен для иллюстрации следующей мысли. Корректно получить ПрЛ позволяет именно то обстоятельство, что инвариант может иметь любое значение и, тем самым, допускает независимые значения пространственных координат и времени.

Рассмотрим переход из К-системы с координатами X, Y, Z, T в К'-систему с координатами X', Y', Z', T'. При этом

$$J=c^2T'^2-X'^2-Y'^2-Z'^2=c^2T^2-X^2-Y^2-Z^2$$

Этот переход выполним в два шага.

На первом шаге выполняется переход в масштабах К-системы: $x^*=X-vT,\ y^*=Y,\ z^*=Z,\ t^*=T$.

Исключив X,Y,Z,T получим новое выражение для инварианта

$$J=c^2(1-v^2/c^2)t^{*2}-2x^*vT-x^{*2}-y^{*2}-z^{*2}.$$

Перепишем это соотношение в виде:

$$J=c^2[\chi_v t^*-x^*v/\chi_v c^2]^2-x^{*2}[1+v^2/(c^2-v^2)]-y^{*2}-z^{*2}.$$

На втором шаге вводятся координаты X', Y',Z,T':

$$T'=\chi_v t^*-x^*v/\chi_v c^2=\gamma_v(T-vX/c^2);\ X'=\gamma_v x^*=\gamma_v(X-vT);\ X'=X';\ Y'=Y.$$

Итак, инвариантность J обеспечивает ПрЛ.

«Если бы мы, следуя Эйнштейну, знали только одно значение J=0, то в принципе не могли получить преобразование общего вида, поскольку пространственные переменные были бы связаны с временной переменной. Именно это обстоятельство осталось не замеченным А. Эйнштейном в его работе 1905г. при выводе преобразований Лоренца» [3, с.42].

О выводе инвариантности интервала из ПрЛ. Рассмотренные ранее методы вывода ПрЛ были некорректны, так опирались:

а) либо на некорректно доказанную инвариантность интервала «оригинальным методом В. Паули»;

б) либо на некорректную подмену (1) недоказанной инвариантностью интервала (метод Бергмана);

в) либо на раздельный вывод преобразований для (x,t) и (y,x), вступающий в противоречие с (1) для движения светового сигнала под углом.

В литературе, в ситуациях (б) и (в), инвариант (2) получают, опираясь на предварительно некорректно полученные ПрЛ. При этом сначала дают выражение для интервала как *определение*(!). Затем, опираясь на это определение, вычисляют s'^2 путем подстановки в него взятых из ПрЛ выражений (12) для штрихованных координат через нештрихованные. Результат совпадает с выражением для s^2, что якобы говорит об инвариантности интервала (2).

Однако тут есть следующая некорректность. Из (12) для базового семейства ИСО, для которого получены ПрЛ, следует:

$$c^2t'^2-x'^2=c^2t^2-x^2, y'=y, z'=z,$$

т.е. здесь как бы даны три инварианта:

$$S=c^2t^2-x^2=inv, y=inv, z=inv \qquad (2.25)$$

Поэтому с тем же успехом, оставаясь в рамках базового семейства ИСО, можно доказать $c^2t^2-x^2-\Omega(y,z)=inv$, где $\Omega(y, z)$ – произвольная функция от y и z. Поэтому, казалось бы, из (25) нет строгого основания для самого определения интервала в виде (2), а не в виде, например, $s^2=c^2t^2-x^2-\Omega(y,z)$. Во всяком случае, такой прием должен как-то обосновываться.

Другие подходы. Имеются подходы к выводу ПрЛ, опирающиеся на общие теоретико-групповые соображения. В. Паули в отношении работ Игнатовского, Франка и Роте делает вывод, что «из теоретико-групповых соображений можно получить лишь внешний вид формул преобразования, но не их физическое содержание» [4, с. 27]. Имеются статьи, в которых получают ПрЛ, опираясь только на принцип относительности. В отношении таких теоретических подходов также имеет силу заключение В. Паули, а также проблема доказательства инвариантности интервала.

Пуанкаре первым показал инвариантность интервала. Он «рассмотрел множество всех преобразований, переводящих уравнение $c^2t^2-x^2-y^2-z^2=0$ само в себя, и потребовал, чтобы эта группа содержала в качестве подгрупп:

а) однопараметрическую группу перемещений параллельно оси X (в качестве параметра фигурирует скорость v);

б) обычные вращения системы координат.

…В итоге мы приходим к вполне определенным формулам преобразования (12) и (2)» [4, с.25].

Эту группу по предложению Пуанкаре называют *группой Лоренца*. Здесь есть опора на II-постулат $c^2t^2-x^2-y^2-z^2=0$ и на принцип относительности, который математически выражен, как поиск группы, удовлетворяющей заданным математическим требованиям к своим подгруппам. *Однако этот подход, по существу, берет ПрЛ как исходно заданное*, которое Лоренц получил фактически методом подбора при анализе уравнений электродинамики. Поэтому можно сказать, что «А. Пуанкаре *открыл*, что эти преобразования вместе с пространственными вращениями образуют группу. … Пуанкаре открыл ряд инвариантов группы и среди них инвариант (2), который может быть получен, используя преобразования Лоренца» [3, с. 38-39]. Результат А. Пуанкаре явился предпосылкой для открытия псевдоевклидовой геометрии пространства времени.

Заметим также, что формально говоря, математический факт, основанный на анализе всех преобразований, переводящих $c^2t^2-x^2-y^2-z^2=0$ само в себя, не означает еще, что полученные следствия из расширения множества преобразований, имеет «физический» смысл. Мало ли какое математическое расширение можно дать частной теории. Во всяком случае, подход Пуанкаре находится за пределами подхода Эйнштейна, как аксиоматического метода построении теории на базе «простых» физических постулатов.

Выводы. ЭйнСТО должно:

а) либо согласиться с тем, что из постулатов ЭйнСТО нельзя корректно получить ПрЛ и инвариантность интервала;

б) либо признать, что хотя используемые в литературе выводы ПрЛ некорректны, все же можно корректно ввести интервал, показать его инвариантность и вывести ПрЛ из постулатов ЭйнСТО.

В следующем разделе автор предлагает такое решение, но с определенными оговорками. Кроме того, предлагается физическое объяснение причины некорректности вывода ПрЛ и инвариантности интервала.

2.3. Правильный вывод ПрЛ

Дополнение к постулатам ЭйнСТО. Здесь предлагается «правильный» вывод ПрЛ и инвариантности интервала, опираясь на метод, использованный при выводе ПрЛ в ЭфСТО (подраздел 1.5.1). Он заключается в определении координат события в движущейся ИСО путем его локации. Важную роль при этом в ЭфСТО играет постулат о часах. Поэтому в приводимом ниже выводе ПрЛ, кроме постулата относительности и II-постулата, нам придется опираться на следующее «дополнение о часах»:

> собственный темп хода часов, движущихся относительно заданной «неподвижной» ИСО, отличается от темпа хода часов в этой неподвижной ИСО, причем соотношение между промежутками времени в этих ИСО определяется только скоростью движущихся часов (не зависит от ускорения).

Конкретный вид соотношения при этом в отличие от ЭфСТО не задается. Будем искать его в виде:

$$dt^c = k\chi_v dt, \qquad (2.26а)$$

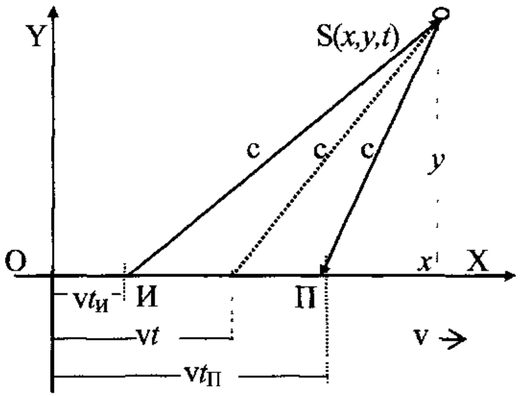
где dt^c и dt - элементарные промежутки времени движущихся часов и часов неподвижной ИСО, k(v) - пока неизвестная функция от текущей скорости движущихся часов.

Полагая, что в некоторый момент обеспечено $t=t^c=0$, для равномерного движения часов из (26а) имеем

$$t=\gamma_v t^c/k. \qquad (2.26б)$$

Вопрос о том, какое место занимает это «дополнение о часах» среди постулатов ЭйнСТО обсуждается далее.

Вывод ПрЛ. Рассмотрим две ИСО: условно неподвижную K и движущуюся K'.



Для простоты, но без ограничения общности, локация события S рассматривается в плоскости XY. На рис. ниже изображен процесс локации события S, как он выглядит с позиции K-системы. Координаты события в K-системе - (x,y,t). Согласно II-постулата сигнал локации в K-системе распространяются независимо от скорости движения локатора (источника) и имеет одинаковую скорость во всех направлениях. Локатор в момент $t_И$ излучает сигнал локации, а в момент $t_П$ принимает сигнал, отраженный от события.

Вывод ПрЛ осуществляется в два шага. На первом вычисляем координаты события в движущейся ИСО по их значениям, заданным в неподвижной ИСО. На втором показываем, что k(v)=1.

Шаг 1. Из треугольников ПSx и ИSx имеем в неподвижной ИСО:

$$(x-vt_И)^2+y^2=c^2(t-t_И)^2; \quad (x-vt_П)^2+y^2=c^2(t_П-t)^2. \qquad (2.26в)$$

Моментам времени $t_И$ и $t_П$ в К-системе соответствуют моменты $t^c_И$ и $t^c_П$ по часам локатора. Подставим в (26в) значения $t_И$ и $t_П$ из (26б) и перепишем квадратные уравнения в стандартной форме:

$$t^c{}_П^2-2pt^c_П+q=0,\ t^c{}_И^2-2pt^c_И+q=0, \qquad (2.26г)$$

где $\quad p=k\gamma_v(t-vx/c^2),\ q=k^2(t^2-r^2/c^2)$, где $r^2=x^2+y^2$. (2.26д)

Так как $t^c_И$ и $t^c_П$ являются корнями одного и того же квадратного уравнения, то из теоремы Виета имеем:

$$t^c_П t^c_И=q \ \Rightarrow \quad c^2t^c_П t^c_И= k^2(c^2t^2-r^2); \qquad (2.27а)$$

$$(t^c_П+t^c_И)/2=p \ \Rightarrow \ (t^c_П+t^c_И)/2=k\gamma_V(t-vx/c^2). \qquad (2.27б)$$

Согласно II-постулата скорость света постоянна во всех направлениях также в К'-системе при ее измерении в масштабах этой ИСО. Поэтому в К'-системе момент времени события и расстояние до него должны определяться из соотношений

$$t'=(t^c_П+t^c_И)/2,\ r'=c(t^c_П-t^c_И)/2. \qquad (2.27в)$$

Тем самым, из (27б, в) имеем соотношение для преобразования временной координаты:

$$t'= k(v)\gamma_V(t-vx/c^2). \qquad (2.28а)$$

<u>Шаг 2</u>. Теперь будем опираться на принцип относительности, из которого и из (28а) следует, что

$$t=k(-v)\gamma_V(t'+x'v/c^2). \qquad (2.28б)$$

Здесь использован *принцип обратимости* наблюдателей, который является одним из непосредственных проявлений принципа относительности в ЭйнСТО. В самом деле, (28а) определяет координату t' через координаты (x, t). Если теперь рассмотреть К'-систему как неподвижную, а систему К как движущуюся со скоростью -v, то естественно должны получить (28б).

Используем совместно (28а) и (28б). Это правомочно. В самом деле. Если рассматривается некоторое конкретное событие, то t и t' в (28а) и (28б) означают его параметры в разных ИСО, а x' – это та пока нам неизвестная абсцисса события в К', которая совместима с участвующими в (28а) значениями x, t и t'. Так как, (28а) и (28б) отнесены к одному и тому же событию, то их можно рассматривать совместно с целью определения x'. Исключив величину t' из (28а) и (28б), получим:

$$x' =k(v)\gamma_V(x-bt),\ \text{где}\ b=[1-1/k(v)k(-v)\gamma_V^2)]c^2/v. \qquad (2.29а)$$

Коэффициент b должен быть равен v. В самом деле, точка начала координат движущейся K'-системы имеет в K-системе абсциссу $x=\mathrm{v}t$, а в K'-системе - $x'=0$. Из (29а) при $x'=0$ имеем $x=bt$, откуда $b=\mathrm{v}$. С учетом $b=\mathrm{v}$ преобразования для абсциссы события примут вид:

$$\text{а) } x'=k(\mathrm{v})\gamma_{\mathrm{V}}(x-\mathrm{v}t),\ \text{б) } x=k(\mathrm{v})\gamma_{\mathrm{V}}(x'+\mathrm{v}t'),\ \text{где } k(\mathrm{v})k(-\mathrm{v})=1. \quad (2.29б)$$

Здесь «б» получено из «а» так же, как (28б) получено из (28а).

Из (29б) общепринятым в ЭйнСТО приемом [5, с. 81], сопоставления длины стержня, покоящегося в K и наблюдаемого в K', с длиной стержня, покоящегося в K' и наблюдаемого в K, следует, что $k(\mathrm{v})=k(-\mathrm{v})$, т.е. $k(\mathrm{v})=1$.

Итак, имеем:

$$x'=\gamma_{\mathrm{V}}(x-\mathrm{v}t),\ x=\gamma_{\mathrm{V}}(x'+\mathrm{v}t'),\ t'=\gamma_{\mathrm{V}}(t-\mathrm{v}x/c^2),\ t=\gamma_{\mathrm{V}}(t'+x'\mathrm{v}/c^2). \quad (2.29в)$$

Кроме того, из (27а) имеем

$$c^2 t^c_{\text{П}} t^c_{\text{И}}=c^2t^2-r^2=\mathrm{inv}(\mathrm{v}) \quad (2.30а)$$

т.е. величина $t^c_{\text{П}} t^c_{\text{И}}$ является инвариантом, т.к. не зависит от v.

Из тождества $c^2[(t^c_{\text{П}}+t^c_{\text{И}})/2]^2-[c(t^c_{\text{П}}-t^c_{\text{И}})/2]^2=c^2 t^c_{\text{П}} t^c_{\text{И}}=\mathrm{inv}(\mathrm{v})$

с учетом (27в) следует инвариантность интервала:

$$c^2t'^2-r'^2=c^2t^2-r^2=\mathrm{inv}(V)=c^2 t^c_{\text{П}} t^c_{\text{И}} \quad (2.30б)$$

Теперь нужно записать, что в K и K' используется декартовая сетка согласованных пространственных координат, т.е.

$$r^2=x^2+y^2,\ r'^2=x'^2+y'^2,$$
$$c^2t'^2-x'^2-y'^2=c^2t^2-x^2-y^2=\mathrm{inv}(V). \quad (2.30в)$$

Подставив в (30в) значения x' и t' из (29в), получим

$$y'=y. \quad (2.30г).$$

Обсуждение. Приведенный вывод имеет следующие три положительных свойства:

1) результат относится к произвольным типам событий, так как локация события не привязана к его типу;
2) при выводе ПрЛ нам не потребовалось явно опираться на линейность преобразований;
3) «дополнение о часах» явно указывает на «часы, не зависящие от ускорения», что обосновывает формулу:

$$t^c=\int_{(t_1,t_2)}\chi_{\mathrm{v}}\,\mathrm{d}t. \quad (2.30д)$$

Принципиальный вопрос теперь в следующем. Является ли введенное «дополнение о часах» новым дополнительным постулатом *к ЭйнСТО или (26а) можно корректно* получить из постулатов ЭйнСТО?

Если опираться на общий вид линейной связи пространственно-временных координат события, то для базового семейства ИСО можно записать:

$$t=\alpha t'+\beta x', \qquad (2.31а)$$

где α и β – неизвестные функции от v. Пусть в точке x'_0 K'-системы произошли два последовательных события t'_1 и t'_2.
Из (31а) имеем:

$$t_1=\alpha t'_1+\beta x'_0,\ t_2=\alpha t'_2+\beta x'_0,$$

$$\Delta t=\alpha\Delta t',\ \text{где}\ \Delta t=t_2-t_1,\ \Delta t'=t'_2-t'_1. \qquad (2.32б)$$

Это для равномерного движения часов соответствует (26а).

Вопрос, таким образом, сводится к тому, насколько корректно на базе постулата однородности-изотропности можно считать, что масштабы времени (и длины) в движущейся и неподвижной системах отсчета отличаются ($\alpha\neq0$) и, кроме того, вводится относительность одновременности ($\beta\neq0$). В [5, с.79] это обосновывается так: «поскольку скорости не складываются по классической формуле, можно ожидать, что время одной системы координат не выражается через время другой системы координат, а зависят также и от координат». Но это - не физическое обоснование, а «математическое желание», ведь условия $\alpha\neq0$ и $\beta\neq0$ - это не просто некая свобода выбора масштабов при построении координатных сеток в разных ИСО, а принципиально необходимые свойствами пространства-времени. А задача ведь состоит в их однозначном определении. Общий вид линейного преобразования не противоречит однородности-изотропности. Однако из однородности-изотропности пространства времени не следует, что связь координат события должна принимать общую форму линейного преобразования. Принимая преобразования в общей форме, мы неявно постулируем физическую не тождественность разных ИСО, разные масштабы времени и длины в них и относительность одновременности.

Выводы. Мнение автора таково: если не трактовать постулат однородности-изотропности столь расширительно, то А.А. Логунов прав, утверждая, что из постулатов ЭйнСТО нельзя корректно получить ПрЛ для произвольных типов событий.

Итак, опираясь на все изложенное относительно вывода ПрЛ и инвариантности интервала, можно пойти двумя путями:

1) «если бы директором был я», то заменил бы постулат однородности-изотропности на постулат о часах с неизвестным коэффициентом k, требующем своей конкретизации. Тем более что он явно дает право записать (30д), а в ЭйнСТО все равно приходится по ходу дела вводить соглашение «о часах, независящих от ускорения», не вытекающее из ее постулатов;

2) если же «нам не нужны великие потрясения», то надо сохранить постулат однородности-изотропности и исходно придать ему расширенный смысл. Это означает, что исходно вводятся представления о том, что разные СО не тождественны (см. следующий раздел), так что в разных ИСО масштабы пространства и времени разные и имеет место относительность одновременности ($\alpha \neq 0$ и $\beta \neq 0$ в 31а). Этим роль постулата значительно однородности-изотропности усиливается, что должно быть явно провозглашено.

Второй путь для ортодоксов от ЭйнСТО должен быть предпочтительнее по соображениям глобального порядка, так как в современной теоретической физике ценятся именно принципы, а не «нагромождение гипотез».

2.4. «Уши эфира» и кинематическое подобие

Эффект Доплера. Ранее в подразделе 2.1.1 уже отмечалось, что постулированная независимость скорости света от движения источника говорит о наличии среды, в которой свет распространяется. Однако присутствие отвергнутой среды проявляется в релятивистских эффектах.

Так для продольного эффекта Доплера в ЭйнСТО получают соотношение $T^c_П/T^c_И=[(1\text{-}v/c)/(1+v/c)]^{1/2}$, где $T^c_П$ и $T^c_И$ – промежутки времени на приемнике и источнике по их собственным часам.

Рассмотрим это явление в рамках одной ИСО при неподвижном источнике и пересчитаем этот результат к часам источника. В этом случае $T^c_И=T_И$, а промежуток собственного времени на приемнике $T^c_П$ связан с его значением $T^П_И$ по часам источника соотношением $T^c_П=\chi_v T^И_П$. Тем самым,

$$T^И_П = T_И/(1+V_И/c).$$

Эта формула есть не что иное как акустический эффект Доплера для неподвижного приемника, т.е. эффект в среде. *Таким образом, при пересчете релятивистского эффекта Доплера к системе отсчета приемника явно видно, что он выражается так же, как акустический эффект Доплера. Это возможно только в условиях наличия среды распространения света. Релятивистский эффект – это классический эффект Доплера в среде с учетом отличия темпов хода часов на источнике и на приемнике.*

Подобное рассуждение в пользу эфира в ЭйнСТО отвергают, так как «для этого в каждую систему отсчета нужно брать свою среду. Короче, для соблюдения принципа относительность годился бы полностью увлекаемый эфир. Но это уже совсем странное предположение» [7, с.922]. Это опровержение некорректно. Увлекаемый эфир не нужен. Релятивность эффекта Доплера в ЭйнСТО достигается путем перехода к новым представлениям о времени и пространстве. Этим обеспечивается согласование независимости скорости света от движения источника с принципом относительности, которые по своей физической сути представляются несовместимыми. И это согласование в интересах принципа относительности привело к тому, в каждой ИСО процессы протекают так, как если бы эта ИСО была неподвижна относительно эфира.

История с аберрацией света. В отношении аберрации света возникло историческое недоразумение. Суть его в том, что некоторые весьма уважаемые ученые интерпретировали аберрацию таким образом, что она якобы зависит только от относительной скорости *источника и приемника* при «полной идентичности двух случаев: 'движущийся источник света – неподвижный наблюдатель' и 'неподвижный источник света – движущийся наблюдатель'» [4, с.35]. Подобное толкование не исчезло из литературы по

СТО и до наших дней: «в теории относительности имеется лишь один случай относительного движения источника и наблюдателя» [5, с.101].

На ошибочность такой точки зрения было обращено внимание в 1924г. при наблюдении двойных звезд, когда стало ясно, что аберрация не зависит от скорости звезды (источника). Результаты наблюдения двойных звезд противники ЭйнСТО сочли противоречащими принципу относительности, «поскольку СТО не знает абсолютного движения, то в эффекте аберрации должна присутствовать составляющая скорости светила относительно Земли» [16, с.26]. Формально говоря, в ЭйнСТО здесь все нормально, но «уши эфира все же торчат». В самом деле, относительность хотелось бы понимать так, что все взаимодействия определяются только относительными положениями и относительными движениями. Это как раз и заложено в ожидание «полной идентичности двух случаев: 'движущийся источник света – неподвижный наблюдатель' и 'неподвижный источник света – движущийся наблюдатель'», чего реально нет. Свет нарушает такую относительность, он признает пространство как таковое, т.е. движется относительно абсолютного пространства.

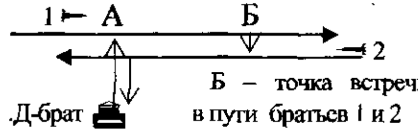
Из ЭфСТО ясно, что для эффекта аберрации света неизбежно нужна среда распространения света. При этом поправка на измерение угла наклона трубы телескопа, связанная с ИПЭ, релятивирует аберрацию.

Замедление времени. Из ПрЛ следует, что часы у брата-путешественника (П-брат) при его возвращении покажут меньшее время путешествия, чем у брата-домоседа (Д-брат). И это правильный теоретический вывод из преобразований Лоренца. Однако он не укладывается в представление о равноправии разных ИСО, которое связывается с принципом относительности.

Рассмотрим в связи с этим *парадокс пульсарных часов.* Пусть братья решили в качестве эталона времени использовать «пульсарные часы», т.е. измерять промежутки времени счетчиком числа наблюдаемых пульсаций некоторого удаленного пульсара. Братья установили свои часы в момент начала путешествия на нуль. П-брат во время путешествия проделывал повороты-развороты и прочие виражи, но не облетал пульсар. *Ясно, что в момент возвращения П-брата* его пульсарные часы покажут то же время, что и часы у Д-брата, так как ни один импульс пульсара никуда не мог деться и дополнительный импульс не мог появиться. Это якобы противоречит выводу о том, что П-брат будет моложе Д-брата. Но на это в ЭйнСТО справедливо заметят, что часы, базирующиеся на внешних сигналах, не пригодны для анализа данной задачи, так как нужно ориентироваться на собственные часы, каковыми, например, являются квантовые часы. Непонимание принципиального различия между собственными часами и внешней синхронизацией удаленным источником служит порой причиной необоснованной критики ЭйнСТО [22, с. 24].

Проблема, однако, в том, что *СТО не может назвать ту физическую причину, которая определяет этот эффект замедления времени у П-брата.* Этот эффект не может быть объяснен ускорениями П-брата в периоды разгонов и торможений, так как эти периоды могут быть сделаны сколь угодно малыми по сравнению с общим временем путешествия, а различие времен тем больше, чем больше время путешествия. Да и само ЭйнСТО везде говорит о часах, независящих от ускорения.

Кроме того, есть вариант этого парадокса с тремя братьями, из которых два брата (1 и 2) являются путешественниками, а третий домоседом (Д-брат). В этом



Б – точка встречи в пути братьев 1 и 2

случае никаких ускорений вообще нет. В пункте А при пролете брата 1 над домом Д-брата показания часов брата 1 и Д-брата устанавливаются в нуль. В точке Б при встрече в пути братьев 1 и 2 показания часов (а не сами часы) брата 1 передаются брату 2. В пункте А брат 2 передает Д-брату информацию о показании своих часов, которые Д-брат сравнивает со своими собственными часами. При этом окажется, что по часам, переданным братом 2, прошло меньше времени, чем по часам Д-брата.

В СТО иногда прибегают к заявлению, что объяснение парадокса близнецов дает общая теория относительности. Но это неверно: эта теория ничего нового к парадоксу часов не добавляет [9, с. 198]

С позиции ЭфСТО наличие скорости движение относительно среды является физической причиной замедления темпа хода часов. Часы, которые интегрально меньше двигались относительно этой среды, покажут меньшее время.

Из эффекта близнецов, эффектов Доплера и аберрации «торчат уши» среды, в которой происходят эти явления, хотя движение относительно самой среды на уровне событий непосредственно не наблюдаемо.

Не тождественность, а кинематическое подобие ИСО. Соотношение, характеризующее замедление хода часов отражает связь между промежутком времени по одним неподвижным К'-часам и значением этого промежутка, измеренным по двум К-часам. Эффект обратим. Его обратимость создает впечатление, что замедление является «кажимостью». Поэтому замедление хода часов часто снабжают комментарием «*кинематический эффект*», подразумевая, что с часами ничего не происходит. На этот счет в СТО регулярно встречаются ошибочные утверждения. Так в [7, с.293] утверждается, что «если в двух ИСО идут двое тождественных часов, то промежутки собственного времени, отсчитываемые этими часами одинаковы».

Этому дается следующее обоснование. «Казалось бы, можно рассуждать так. Поскольку все часы в К синхронизованы, то время, отсчитанное *разными* часами в К, может быть приравнено отсчету промежутка времени по одним часам из К. Тогда окажется, что тождественные часы в К и К' идут по-разному. Но ведь СТО опирается на *полную симметрию инерциальных систем*! И она действительно есть!» Странное обоснование. Казалось бы, из этого следует, что *нет полной симметрии ИСО*. Часы в разных ИСО действительно идут по-разному.

Ошибочность подобных утверждений возникает от неправильного толкования слов «равноправие» и ««симметрия». Они имеют место в том смысле, что для созданной ситуации в одной из двух конкретных ИСО результаты наблюдения в другой ИСО будут одними и теми же независимо от того, в какой из двух этих ИСО создана данная ситуация. Но такая «симметрия» скрывает понимания того, что *принцип относительности в СТО отражает не тождественность систем, а их кинематическое подобие.* Если рассматриваются только две ИСО, относительная скорость которых не равна нулю, то нельзя сказать, в чем их различие по темпам хода часов. Но ситуация проявляется при встрече часов или в МЭ с тремя братьями. Она также становится ясной при рассмотрении трех или более ИСО. Для двух из них можно указать такую новую выделенную ИСО, относительно которой темпы хода часов равны (скорости двух ИСО относительно выделенной ИСО по модулю равны), т.е. эти ИСО как бы тождественны. Но темпы хода в этих двух отличаются от выделенной ИСО. И во всех прочих ИСО замедление времени будет, вообще говоря, иным, чем в выделенной ИСО, что говорит об не тождественности разных ИСО. Замедление времени – это, строго говоря, не кинематический эффект, а физический эффект, скрытый при анализе пары ИСО.

На кинематическом подобии ИСО, а не их тождественности, справедливо акцентирует внимание А.А. Тяпкин [17]: «...совпадения уравнений, описывающих соответствующие физические процессы в различных инерциальных системах, вовсе недостаточно для вывода об их тождественности, раз для их кинематического описания требуется вводить несовпадающие по одновременности собственные времена».

И далее он справедливо пишет, что «смысл нового принципа относительности состоит вовсе не в отсутствии так называемого "эфирного ветра" (которое отвечало бы принципу относительности Галилея), а во влиянии этого ветра на все физические процессы в движущейся системе относительно исходной системы, где принято изотропное описание скоростей» [17].

Однако А.А. Тяпкин не опирается, как ЭфСТО, на конкретные эффекты влияния эфирного ветра, а опирается на два чисто математических требования, которые «обеспечат независимость всех экспериментально наблюдаемых соотношений от выбора степени всеобщей анизотропии в кинематическом описании физических процессов» [18]. Из этих требований и требуемого равноправия ИСО, выводятся ПрЛ. Но это лишь иной путь «математических ухищрений» в попытке объяснения физической нетождественности разных ИСО в рамках пустого пространства.

3. МИР МИНКОВСКОГО (МинСТО)

Математика составляет сущность естественно научных теорий.

Морис Клайн

Отныне пространство само по себе и время само по себе должны превратиться в фикцию, и лишь некоторый вид соединения обоих должен еще сохранить самостоятельность.

Г. Минковский

Нельзя объединить то, что Господь создал раздельно.

В. Паули

Я хотел бы, чтобы вы ясно поняли, что в четырехмерном пространстве нет ничего, кроме способа выражения.

Л.И. Мандельштам

3.1. Геометрия пространства-времени

Псевдоевклидова геометрия. В классической физике имеются понятия и средства, которые позволяют трактовать физические величины как геометрические объекты в евклидовом пространстве – скаляры, векторы и тензоры, с помощью которых можно описывать классические законы природы в понятиях, не привязанных к конкретной координатной сетке. Например, 2-й закон Ньютона звучит так: произведение массы на вектор ускорения равно вектору силы. Хотя координаты конкретного вектора зависят от принятой координатной сетки, но вектор и тензор в целом остается самим собой, так как имеются правила пересчета его координат при переходе от одной координатной сетки к другой. При этом длина вектора является его инвариантом, т.е. не зависит от системы координат.

Г. Минковский в 1908г., опираясь на инвариантность интервала (ранее открытую А. Пуанкаре), *открыл* геометрию четырех измерений, в которой точками являются *события*, а интервал выступает в роли метрики. Эта метрика называется *псевдоевклидовой.*

Время и пространство теперь являются проявлениями одной сущности «пространство-время».

Система координат, в которой эта метрика имеет вид

$$s^2=c^2t^2-x^2-y^2-z^2 \quad \Rightarrow \quad ds^2=c^2dt^2-dx^2-dy^2-dz. \qquad (3.1)$$

называется галилеевой (ортогональной). В отличие от евклидового пространства здесь квадрат расстояния s^2 между двумя точками может быть отрицательным, а две точки, между которыми расстояние равно нулю, могут не совпадать.

Если ввести вместо времени t мнимую величину $t'=ict$, то можно записать $t'^2+r^2=\mathrm{inv}$, что аналогично метрике четырехмерного евклидового пространства. Далее мы не будем использовать мнимую координату для времени, а использовать непосредственно (1) для выражения интервала между событиями.

В псевдоевклидовом пространстве можно ввести 4-векторы и тензоры разных рангов, для которых разработано тензорное исчисление. Оно исследует те операции над векторами и тензорами, при которых результирующий объект будет вектором, тензором или скаляром.

Псевдоевклидову геометрию, интерпретируемую как геометрию пространства-времени, называют *миром Минковского.* Здесь важно то обстоятельство, что миру Минковского принадлежат не только события, но также все физические величины, которые представляют собой 4-векторы и тензоры этого 4-пространства.

По Минковскому «…в явлениях нам дается только четырехмерный в пространстве и времени мир». «Из изучающей “*происходящее*” в трехмерном пространстве физика становится в известном смысле изучающей “существующее” в четырехмерном мире» - поясняя Эйнштейн [1, с.205]. Слова “происходящее”, “существующее” и “мир” им взяты в кавычки, так как «...нет ничего банальнее утверждения, что окружающий нас мир представляет собой четырехмерный пространственно-временной континуум» [1, с.166]. Впоследствии Эйнштейн оценил важность этого открытия, «без которого общая теория относительности находилась бы в зачаточном состоянии». Но при всей важности концепции псевдоевклидового пространства в вопросе о его «реальности» мнения различны.

Далее мы ограничимся лишь 4-векторами:

объект произвольной природы с четырьмя компонентами, которые по своей сути при переходе из одной ИСО в другую преобразуются так же, как координаты события, называется 4-вектором.

Пусть **F** обозначает 4-вектор. В галилеевой системе координат будем его обозначать в виде:

$\mathbf{F}=(f_0,\boldsymbol{f})=(f_0,f_1,f_2,f_3)$, где f_0 – времениподобный компонент,

а $\boldsymbol{f}=(f_1,f_2,f_3)$ –пространственно-подобные компоненты.

В частности, 4-радиус-вектор обозначим как $\mathbf{R}=(r_0, \boldsymbol{r})$, где

$$r_0=ct,\ r_1=x,\ r_2=y,\ r_3=z,\ \boldsymbol{r}=(r_1, r_2, r_3).$$

При переходе из K системы к K'-системе компоненты 4-вектора **F**, *приведенные к одной размерности*, преобразуются как компоненты 4-радиус-вектора, т.е. в соответствии с ПрЛ:

$$f_1'=\gamma_v(f_1- f_0v/c),\ f_2'=f_2,\ f_3'=f_3,\ f_0'=\gamma_v(f_0- f_1v/c), \qquad (3.2а)$$

где v – скорость K'-системы относительно K.

При этом квадрат инвариантной длины 4-вектора определяется выражением

$$J=f_0^2-f_1^2-f_2^2-f_3^2= f_0'^2-f_1'^2-f_2'^2-f_3'^2=\mathrm{inv}(v). \qquad (3.2б)$$

Примером 4-вектора является 4-вектор скорости **U** и вектор энергии импульса материальной точки **P**:

$$\mathbf{U}=(u_0, u_1, u_2,u_3)=(\gamma_u, \gamma_u\mathbf{u});\ \mathbf{P}=(E/c, \mathbf{p})=(m_0\gamma_u, m_0\gamma_u\mathbf{u}), \qquad (3.3)$$

где **u** – вектор 3-скорости точки, m_0 – ее масса покоя,

$E=m_0\gamma_u$ – ее полная энергия, $\mathbf{p}= m_0\gamma_u\mathbf{u}$ – ее 3-импульс.

То, что **P** является 4-вектором, следует из того, что

$$p_0'^2-p_1'^2-p_2'^2-p_3'^2= E'^2/c^2-p'^2=\mathrm{inv}(v).$$

В этом можно убедиться непосредственно, если, воспользовавшись, преобразованиями (1.30а, б, в) для скорости **u**, выразить $p_0'^2-p_1'^2-p_2'^2-p_3'^2$ через u_0, u_1, u_2, u_3 и убедиться, что результат не зависит от относительной скорости v систем K' и K. Если в K'-системе частица неподвижна, то

$E'^2/c^2-p'^2=m_0^2c^2$. Тем самым, формула $E^2/c^2-p^2=m_0^2c^2$ связывает полную энергию частицы с ее импульсом.

Форминвариантность законов природы. Законы природы должны быть представлены в инвариантной форме. Смысл этого будет конкретизирован, если определено *правило преобразования для физических величин различной природы*. МинСТО дает ясный ответ на этот вопрос:

физические величины, входящие в закон природы должны быть векторами или тензорами псевдоевклидового пространства-времени, а операции над ними, входящие в формулировку закона природы, должны быть инвариантами, т.е. их результат должен быть вектором, тензором или скаляром.

Это обеспечит сохранение формы уравнений при переходе из одной ИСО к другой ИСО, если в этих ИСО используются физически эквивалентные системы пространственно-временных координат, т.е. такие системы координат, которые сохраняют форму метрики пространства-времени.

В ЭфСТО принцип относительности следует из ее постулатов только для кинематических явлений. Так как ПрЛ получены как соотношения, связывающие координаты события, то нельзя дедуктивно показать, как должны быть связаны штрихованные и нештрихованные компоненты некинематических физических величин, таких как сила, напряженности полей и др.

В ЭйнСТО постулат относительности трактуется как универсальный принцип, который требует, чтобы фундаментальные законы природы выражались одинаково во всех ИСО. Это в определенной степени дает определенные основания считать, что ПрЛ должны быть основой для преобразования также некинематических физических величин. Но строгого логического следования к псевдоевклидовому пространству здесь нет.

ЭйнСТО считает, что «с точки зрения математики специальная теория относительности является теорией инвариантов группы Лоренца [4, с. 40]. Но с позиции МинСТО мир Минковского – это не просто удобная геометрическая интерпретация ЭйнСТО, а исходный *постулат (сущность) СТО*:

физические процессы протекают в пространстве-времени, геометрия которого псевдоевклидова.

ПрЛ получают математически строго из этого постулата (см. подраздел 2.2.3). Принцип относительности для инерциальных ИСО считается частным проявлением того, что все процессы протекают в пространстве-времени с метрикой (1). Константа $\underline{c}$, входящая в метрику, считается предельной скоростью всякого взаимодействия.

Такое понимание теории относительности пришло не сразу, оно было получено как математическое обобщение предыдущих исследований в СТО.

Ни Эйнштейн, ни Лоренц, выявив преобразования от нештрихованных величин к штрихованным для напряженности поля и источников поля, не показали, что они обладают групповыми свойствами. Это сделал Пуанкаре. Он же открыл инвариантность интервала и показал, что ряд величин, образованных из скаляра и 3-вектора, преобразуются как координаты события. Минковский пришел к идее моделирования физических величин геометрическими объектами псевдоевклидового пространства. Систематическое изложение идей, идущих от Минковского, дал Зоммерфельд в 1910г.

По мнению А. А. Логунова, этот пространственно-временной мир событий универсален *для всех полей*, что позволило ему обобщить СТО на неинерциальные системы отсчета и создать теорию гравитации (РТГ), в которой гравитация является полем в псевдоевклидовом пространстве-времени. Эта теория является альтернативной по отношению к общей теории относительности Эйнштейна (ОТО). Место мира Минковского в физической картине мира по А. Эйнштейну и А.А. Логунову, таким образом, разное.

Законы сохранения при столкновениях. Самым простым примером, иллюстрирующим изложенный выше подход, может служить формулировка закона сохранения энергии-импульса при столкновениях (см. подраздел 1.5.5). При этом энергия частицы определяется как $E=\gamma_u m_0 c^2$, а импульс как $\mathbf{p}=\gamma_u m_0 \mathbf{u}$. Выше показано, что $\mathbf{P}=(E, \mathbf{p})$ является 4-вектором. Поэтому закон сохранения энергии-импульса при столкновениях можно представить в 4-векторной форме:

$$_i\Sigma \mathbf{P}_{дi} = {}_j\Sigma \mathbf{P}_{пj},$$

где $\mathbf{P}_{дi}$ – 4-вектор i-ой частицы до столкновения, $\mathbf{P}_{пj}$ - 4-вектор j-ой частицы после столкновения.

Форминвариантность закона гарантируется тем, что он выражен через 4-векторы, а результат операции сложения 4-векторов является 4-вектором.

Основания для геометризации пространства-времени. Физическим основанием для постулирования мира Минковского считается электродинамика, уравнения которой изначально обладали свойством Лоренц-инвариантности. «Это произошло благодаря тому, что Максвелл был глубоко проникнут чувством математической симметрии» (А. Пуанкаре). Но на это было обращено внимания только тогда, когда эксперименты обнаружили, что они не инвариантны относительно преобразований Галилея.

Из уравнений Максвелла-Лоренца в свободном пространстве следует уравнение в частных производных для поверхности (фронта) электромагнитной волны (однородное волновое уравнение), правая часть которого по форме совпадает с интервалом при $s^2=0$ [2, с.24-28]. Таким путем псевдоевклидова метрика выявлена только на световом конусе. Однако анализ уравнений Максвелла-Лоренца с источниками позволяет сделать вывод, что «пространство и время едино, а геометрия его псевдоевклидова».

Этот результат как гипотеза распространяется на все физические явления.

Однако суть геометризации пространства-времени даже глубже: в рамках мира Минковского при взаимодействии поля с веществом их совместные энергия, импульс и момент количества движения сохраняются. Этот подход впоследствии показал свою эффективность в новых теориях 20-го века. Вот она «непостижимая эффективность математики»!

3.2. Электродинамика

Традиционное изложение электродинамики базируется на уравнениях Максвелла-Лоренца[1]. Задача этой главы показать, как система уравнений электродинамики, записывается через векторы и тензоры четырехмерного пространства-времени.

3.2.1 Уравнения Максвелла–Лоренца

. Ниже кратко описаны эти уравнения, достаточные для наших целей. При изложении уравнений электродинамики автор попытался для «наглядности» придать этим уравнениям «механическое» толкование.

Риман в 1861 г. по его представлениям на тот момент о законе силы между электронами предложил уравнение:

$$\partial\varphi/\partial t + c\,\mathrm{div}\mathbf{A} = 0. \qquad (3.4a)$$

При этом он считал, что φ может интерпретироваться как плотность объемного элемента эфира, а c**A** как его скорость [10, с.345]. Это соображение является для нас исходным моментом для интерпретации уравнений электродинамики и силы Лоренца в духе динамики сжимаемой жидкости. Речь идет именно о частичной газодинамической аналогии, а не о построении механической модели среды, из которой следовали бы уравнения электродинамики.

[1] Термин «уравнения Максвелла-Лоренца» здесь следует понимать как совокупность уравнений Максвелла и уравнений для потенциалов, впервые полученных Л. Лоренцем (1829-1891), а также выражения для силы Лоренца, действующей на заряд, предложенной в рамках электронной теории лауреатом нобелевской премии за 1902 год Х.А. Лоренцем (1853-1928).

Уравнения непрерывности полевой среды. В электродинамике уравнение (4а) известно условие Лоренца калибровки потенциалов: скалярного φ и векторного **A**. Представим **A** в виде $\mathbf{A}=\varphi\boldsymbol{\omega}/c$, тогда:

$$\partial\varphi/\partial t+\mathrm{div}\varphi\boldsymbol{\omega}=0. \qquad (3.4б)$$

На основе соотношения (4б), которое по форме выглядит как уравнение непрерывности для сжимаемой жидкости, далее будем считать, что оно определяет уравнение непрерывности полевой среды, где φ - плотность полевой среды в точке пространства, а $\boldsymbol{\omega}$ - скорость ее элементарного объема.

Ниже будут выписаны уравнения для ЭМ-поля в контексте такой интерпретации, что сделает, на взгляд автора, изложение, как минимум, менее скучным.

Заряды и поле рассматриваются как непрерывные среды.

Состояние поля в точке пространства. Рассмотрим состояние движения в пространстве некоей гипотетической сжимаемой жидкости, которую назовем ЭМ-полем (далее для краткости – ***поле***). С точкой пространства будем связывать элементарный объем dv, которому припишем следующие характеристики:

φ – плотность поля в ином в условном масштабе;

$\boldsymbol{\omega}$ - скорость объема поля dv в текущий момент времени;

$\mathbf{A}=\varphi\boldsymbol{\omega}/c$ – плотность потока поля, т.е. количество поля, прошедшее через единицу поверхности за единицу времени (размерность **A** такая, как у φ);

$\partial\mathbf{A}/\partial t$ – вектор ускорения потока поля в рассматриваемой точке;

$\mathbf{H}=\mathrm{rot}\mathbf{A}$ – напряженность магнитного поля, т.е. вихрь вектора потока поля.

По современным представлениям «четырехмерный потенциал представляет собой вспомогательную величину, оказывающуюся часто полезной, но не имеющей в теории Лоренца никакого физического смысла» [4, с.115]. Скалярный потенциал нельзя непосредственно измерить, но можно измерить разность потенциалов в двух точках. Векторный потенциал, строго говоря, нельзя не только измерить, но и вычислить в силу его неоднозначности. Физический смысл потенциала **A** скрыт; математически он проявляется через уравнения ЭМ-поля в целом. Вводя $\boldsymbol{\omega}$, мы вводим величину, которая является компонентом скрытой величины

А, но оказывается, что ей уже можно приписать физический смысл, по крайней мере, гипотетический.

Сохранение заряда. Заряды представляют собой элементарные частицы. При движении большого числа таких частиц их движение можно приравнять движению сжимаемой жидкости, т.е. принять, что каждый элементарный объем dv пространства характеризуется величинами:

ρ - объемная плотность заряда;

u – скорость движения зарядов в элементе объема d;

j=ρ**u** - плотность электрического тока, т.е. количество зарядов прошедшее через единицу поверхности за единицу времени.

Имеет место закон сохранения заряда: изменение во времени плотности заряда в некоторой точке равно расходу (притоку и/или истоку) заряда в эту точку. В дифференциальной форме этот закон имеет вид:

$$\partial\rho/\partial t+\mathrm{div}\rho\mathbf{u}=0 \quad \text{или} \quad \partial\rho/\partial t+\mathrm{div}\mathbf{j}=0 \qquad (3.5)$$

Уравнения для потенциалов. Малые колебания в сплошных средах (жидкостях, газах, упругих телах) описываются волновыми уравнениями. Удивительно или нет, но потенциалы поля φ и **А**, с которыми связана плотность и скорость объемного элемента поля, также описываются волновыми уравнениями, причем заряды являются источниками для плотности поля φ, а токи – для плотности потока **А**:

$$c^{-2}\partial^2\varphi/\partial t^2-\nabla^2\varphi=4\pi\rho \quad \text{или} \quad \Box\varphi=4\pi\rho; \qquad (3.6)$$

$$c^{-2}\partial^2\mathbf{A}/\partial t^2-\nabla^2\mathbf{A}=4\pi c^{-1}\mathbf{j} \quad \text{или} \quad \Box\mathbf{A}=4\pi c^{-1}\mathbf{j}, \qquad (3.7)$$

где $\nabla=(\partial/\partial x, \partial/\partial y, \partial/\partial z)$ – намбла-оператор (вектор),

$\nabla^2=(\nabla\cdot\nabla)=\partial^2/\partial x^2+\partial^2/\partial y^2+\partial^2/\partial z^2$ - Лапласиан,

$\nabla^2\varphi=\partial^2\varphi/\partial x^2+\partial^2\varphi/\partial y^2+\partial^2\varphi/\partial z^2$,

$\nabla^2\mathbf{A}=(\partial^2\mathbf{A}/\partial x^2, \partial^2\mathbf{A}/\partial y^2, \partial^2\mathbf{A}/\partial z^2)$,

$\Box = c^{-2}\partial^2/\partial t^2-\nabla^2$ - оператор Даламбера.

Заметим, что система уравнений для потенциалов, описывающая акустические поля в газообразной среде, идентична системе уравнений ЭМ-поля. Но в классическом случае эти акустические уравнения являются линейным приближением точных нелинейных уравнений.

Далее будут полезны соотношения: (3.8)

$\nabla\varphi=(\partial\varphi/\partial x, \partial\varphi/\partial y, \partial\varphi/\partial z)$ – градиент φ, $\mathrm{div\,grad}\varphi=\nabla^2\varphi$;

$\nabla\mathbf{A}=(\partial\mathbf{A}/\partial x, \partial\mathbf{A}/\partial y, \partial\mathbf{A}/\partial z)$ – дивергенция **A**,

$\mathrm{grad\,div}\mathbf{A} = \mathrm{rot\,rot}\mathbf{A}+\nabla^2\mathbf{A}$, $\mathrm{div\,rot}=0$, $\mathrm{rot\,grad}=0$.

Уравнения (6, 7), выражающие потенциалы поля в функции его источников ρ и **j**, совместно с уравнениями непрерывности поля (4) и зарядов (5) определяют уравнения поля в потенциалах. При этом оказывается, что уравнение непрерывности для зарядов (4) является прямым следствием уравнений (6,7) и (4).

Поле и заряды представляют собой взаимно определяющие структуры: заряды не обладают самостоятельностью вне поля, а поле обязано своим существованием благодаря зарядам.

Силы, действующие на заряд. Сила $\mathbf{L}_q$, действующая на заряд q, может быть представлена в виде суммы электрической силы и магнитной сил:

$$\mathbf{L}_q = q\mathbf{E}+q\mathbf{M}, \tag{3.9а}$$

где $$\mathbf{E}=-\mathrm{grad}\varphi - c^{-1}\partial\mathbf{A}/\partial t, \quad \mathbf{M}=\mathbf{u}\times\mathbf{H}/c. \tag{3.9б}$$

Здесь $\mathbf{u}\times\mathbf{H}$ означает векторное умножение.

Составляющие **E** и **M** силы $\mathbf{L}_q$ имеют следующий смысл:

E – сила, действующая на единичный неподвижный заряд;

M - магнитная сила, действующая на единичный заряд, движущийся со скоростью **u**.

Значение сил определено в той ИСО, в которой измерены **u**, **A**, φ. Величина **E** называется напряженностью электрического поля, а **H**- напряженностью магнитного поля.

Компонентам электрической силы **E** можно дать следующую естественную гидродинамическую интерпретацию:

- $\mathrm{grad}\varphi$ - сила, связанная с несимметричным давлением на частицу из-за наличия градиента плотности. Эта сила подобна закону Архимеда;
- $c^{-1}\partial\mathbf{A}/\partial t$ – сила инерции, вызванная ускорением потока поля относительно частицы;

$\mathbf{u}\times\mathbf{H}/c$ - аналог подъемной силы Жуковского.

Магнитная сила является следствием закона Ампера: на элементарный участок длины **dl** с током I действует сила
$d\mathbf{F}=c^{-1}[Id\mathbf{l}\times\mathbf{H}/c]$. Так как $Id\mathbf{l}=\mathbf{j}dv=\rho\mathbf{u}dv$, то $d\mathbf{F}=\rho c^{-1}[\mathbf{u}\times\mathbf{H}]dv=\rho\mathbf{M}dv$,
где $\mathbf{M}=\mathbf{u}\times\mathbf{H}/c=\mathbf{M}$ – магнитная сила на единичный заряд.
Сила Жуковского, действующая на единицу длины тела, движущегося со скоростью **u** в потоке жидкости или газа, обусловлена циркуляцией скорости обтекающего тело потока. Так как $\mathbf{H}=\mathrm{rot}(\varphi\boldsymbol{\omega}/c)$, то **H** - это предельное значение циркуляции эффективной скорости $\varphi\boldsymbol{\omega}$ потока поля при стягивании контура в нуль.
В целом можно сказать, что

> поток поля воздействует на заряд силами, которые определяются как силы давления и силы, возникающие из-за неинерциального движения самого поля относительно заряда (изменение скорости и вращение).

Так как уравнения для ЭМ-поля предполагают некую непрерывную среду зарядов, то выражение для силы **L**, действующей на заряд единичного объема надо присоединить к уравнениям электродинамики:

$$\mathbf{L}=\rho(\mathbf{E}+\mathbf{u}\times\mathbf{H})/c. \qquad (3.10)$$

Уравнения для напряженностей поля. Это - уравнения Максвелла в частных производных, которые описывают изменения во времени векторов **E** и **H** через заданные источники поля, т.е. плотности зарядов ρ и плотности токов **j** .

Первая пара. Из выражений $\mathbf{H}=\mathrm{rot}\mathbf{A}$ и $\mathbf{E}=-\mathrm{grad}\varphi-c^{-1}\partial\mathbf{A}/\partial t$ определим $\mathrm{rot}\mathbf{E}$ и $\mathrm{div}\mathbf{H}$. Так как ротор градиента равен нулю и дивергенция ротора равна нулю, то, воспользовавшись возможностью изменения порядка вычисления частных производных, получим:

- закон электромагнитной индукции Фарадея:

$$\mathrm{rot}\mathbf{E}=-c^{-1}\partial\mathbf{H}/\partial t; \qquad (3.11а);$$

- закон отсутствия магнитных зарядов:

$$\mathrm{div}\mathbf{H}=0. \qquad (3.11б).$$

Эти два закона получены непосредственно из определения **E** и **H**, взятых из формулы (9) для силы, действующей на заряд, т.е. не связаны с динамикой поля.

Вторая пара. Эта пара уравнений следует из определений для **E** и **H**, уравнения непрерывности поля и уравнений поля в потенциалах.

Вычислив $\partial/\partial t$ над уравнением непрерывности поля (4а), получим $\partial^2\varphi/\partial t^2+c\,\mathrm{div}\,\partial\mathbf{A}/\partial t=0$. Во втором члене этого равенства заменим $c\partial\mathbf{A}/\partial t$ на его выражение, следующее из определения **E**: $c\partial\mathbf{A}/\partial t=-c\mathbf{E}-c\,\mathrm{grad}\varphi$. В результате для второго члена получим $-c\,\mathrm{div}\,\partial\mathbf{A}/\partial t=c^2\mathrm{div}\,\mathbf{E}-c^2\nabla^2\varphi$, где $\mathrm{div}\,\mathrm{grad}\varphi=\nabla^2\varphi$. Первый член заменим его выражением из (6): $\partial^2\varphi/\partial t^2=c^2(\nabla^2\varphi-4\pi\rho)$. В результате получим:

$$\mathrm{div}\mathbf{E}=4\pi\rho. \qquad (3.11в)$$

Теперь применим операцию grad к уравнению непрерывности поля. При этом используем $\mathrm{grad}\,\mathrm{div}\mathbf{A}=\mathrm{crot}\,\mathrm{rot}\mathbf{A}+c\nabla^2\mathbf{A}$ из (8) и выражением для $\partial^2\mathbf{A}/\partial t^2$ из (7):

$$0=\partial\,\mathrm{grad}\varphi/\partial t+\mathrm{crot}\,\mathrm{rot}\mathbf{A}+c\nabla^2\mathbf{A}=\mathrm{grad}\partial\varphi/\partial t+\mathrm{crot}\,\mathrm{rot}\mathbf{A}+c^{-1}\partial^2\mathbf{A}/\partial t^2-4\pi c\mathbf{j}=$$

$$=\partial(\mathrm{grad}\varphi+c^{-1}\partial\mathbf{A}/\partial t)/\partial t+\mathrm{crot}\,\mathrm{rot}\mathbf{A}-4\pi\mathbf{j}=-\partial\mathbf{E}/\partial t+\mathrm{crot}\mathbf{H}-4\pi\mathbf{j},$$

т.е. $$\mathrm{crot}\mathbf{H}=\partial\mathbf{E}/\partial t+4\pi\mathbf{j}. \qquad (3.11г)$$

Из второй пары уравнений Максвелла и условия непрерывности поля (4) так же, как и из уравнений для потенциалов следует уравнения непрерывности для зарядов (4).

Сводка уравнений.

Уравнения В потенциалах	Связь величин	Уравнения в напряженностях
$\partial\varphi/\partial t+c\,\mathrm{div}\mathbf{A}=0$; $\Box\varphi=4\pi\rho$; $\Box\mathbf{A}=4\pi c^{-1}\mathbf{j}$; $\partial\rho/\partial t+\mathrm{div}\mathbf{j}=0$	$\mathbf{A}=\varphi\boldsymbol{\omega}/c$; $\mathbf{E}=-\mathrm{grad}\varphi-c^{-1}\partial\mathbf{A}/\partial t$; $\mathbf{H}=\mathrm{rot}\mathbf{A}$	$\mathrm{rot}\,\mathbf{E}=-c^{-1}\partial\mathbf{H}/\partial t$; $\mathrm{div}\,\mathbf{E}=4\pi\rho$; $\mathrm{div}\,\mathbf{H}=0$; $\mathrm{crot}\mathbf{H}=\partial\mathbf{E}/\partial t+4\pi\mathbf{j}$; $\partial\rho/\partial t+\mathrm{div}\mathbf{j}=0$;
$\mathbf{L}=\rho\mathbf{E}+\rho c^{-1}[\mathbf{u}\times\mathbf{H}]$		

Заметим, что переход от потенциалов к напряженностям **E** и **H** выполняется однозначно, а переход от **E** и **H** к потенциалам не вполне однозначен (ситуацию смягчает условие калибровки Лоренца).

3.2.2 Форминвариантность уравнений

Инвариантность уравнений поля в потенциалах. Введем следующие операции над произвольным полем 4-вектора **F**:

$\mathrm{Div}\mathbf{F}=(\partial F_0/\partial t-\partial F_x/\partial x-\partial F_y/\partial y-\partial F_z/\partial z)$ – 4-дивергенция;

$\Box\,\mathbf{F}=(c^{-2}\partial^2F_0/\partial t^2-\partial^2F_x/\partial x^2-\partial^2F_y/\partial y^2-\partial^2F_z/\partial z^2)$ - оператор Даламбера.

Если **F** является 4-вектором, то Div**F** и $\Box$**F** также являются 4-векторами [7, с.358]. Также говорят, что операторы Div и $\Box$ являются инвариантами ПрЛ.

Построим две 4-компонентные конструкции $\hat{J}$ и A:

$$\hat{J}=(c\rho, \mathbf{j})\text{ , где } \mathbf{j}=\rho\mathbf{u}, \text{ и } A=(\varphi, \mathbf{A}). \qquad (3.12)$$

Есть все основания считать, что $\hat{J}$ и A были 4-векторами. Для этого следует предположить, что в единице объема соответственно количество заряда и количество поля являются инвариантами, $\rho dv=\rho^c dv^c$ и $\varphi dv=\varphi^c dv^c$, где индекс «с» указывает на собственную систему отсчета. Так как $dv=dv^c/\gamma_u$, то (12) можно записать в виде

$$\hat{J}=(c\gamma_u\rho^c, \gamma_u\mathbf{u}), \qquad A=(\gamma_u\varphi^c, \gamma_u\boldsymbol{\omega}/c).$$

Из сопоставления выражений для $\hat{J}$ и A с выражением для энергии и импульса в (3), видно, что $\hat{J}$ и A должны быть 4-векторами. В частности, для $\hat{J}$ как 4-вектора имеем

$$J_0'^2-J_x'^2-J_y'^2-J_z'^2=c^2\rho^2(1-u^2/c^2)=\mathrm{inv}(v).$$

В этом случае уравнение сохранения заряда (5) и уравнение непрерывности поля (4) примут вид

$$\mathrm{Div}\hat{J}=0;\ \mathrm{Div}A=0, \qquad (3.13)$$

т.е. не будут изменять своего вида при преобразованиях Лоренца. Кроме того, в этих обозначениях уравнения $\Box\varphi=4\pi\rho$ и $\Box\mathbf{A}=4\pi c^{-1}\mathbf{j}$, устанавливающие связь потенциалов поля от его источников, принимают вид:

$$\Box A=4\pi c^{-1}\hat{J}. \qquad (3.14)$$

Оно будет форминвариантным, так как A и $\hat{J}$ – 4-векторы, а $\Box$ является инвариантом ПрЛ.

Инвариантность уравнений поля в напряженностях. Так как при переходе от одной ИСО к другой 4-вектора A и $\hat{J}$ преобразуются в соответствии с ПрЛ, то, имея выражения для напряженностей электрического и магнитного полей **E** и **H** через A и $\hat{J}$ можно вычислить преобразование для пересчета значений **E** и **H** в **E**′ и **H**′.

Существенно, что это преобразование для **E** и **H** ***локально***, т.е. значения **E′** и **H′** в некоторой пространственно-временной точке K′-системы определяются через значения **E** и **H** только в той же пространственно-временной точке K-системы:

$$\mathbf{E}'_\tau=\mathbf{E}_\tau;\ \mathbf{E}'_n=\gamma_u(\mathbf{E}+\mathbf{u}\times\mathbf{H})_n, \qquad (3.15а)$$

$$\mathbf{H}'_\tau=\mathbf{H}_\tau;\ \mathbf{H}'_n=\gamma_u(\mathbf{H}-\mathbf{u}\times\mathbf{E})_n, \qquad (3.15б)$$

где $\boldsymbol{\tau}$ и $\mathbf{n}$ - орты, соответственно параллельный и перпендикулярный скорости **u**. Электрическое и магнитное поля, таким образом, относительны, так как их значения зависят от системы отсчета.

Преобразования (15) впервые открыл Лоренц, но А. Пуанкаре, опираясь на уравнения поля в потенциалах, впервые доказал групповой характер этих преобразований. Векторы **E** и **H** не являются 4-векторами. Вообще говоря, предъявлять какие-либо «геометрические» требования к преобразованиям **E** и **H** не обязательно. Достаточно их групповых свойств и того, что они являются вторичными величинами по отношению к 4-векторам A и $\mathfrak{J}$, для которых форминвариантность уравнений доказана. Тем не менее, Г. Минковский сделал следующий шаг. Он показал, что **E** и **H** образуют специального вида тензор (бивектор), через который могут быть записаны уравнения поля через напряженности.

Инвариантность 4-силы. Надо еще убедиться в том, что соотношение (10) для силы $\mathbf{L}_\rho$, действующей на заряд единичного объема, инвариантно. Пуанкаре, дополнив **L** скалярным компонентом L_0, ввел конструкцию $\mathsf{L}_\rho=(L_{\rho0},\mathbf{L}_\rho)$, где

$$\mathbf{L}_\rho=\rho\mathbf{E}+c^{-1}\rho[\mathbf{u}\times\mathbf{H}],\quad L_{\rho0}=\rho\mathbf{u}\mathbf{L}_\rho/c=\rho\mathbf{u}\mathbf{E}/c. \qquad (3.16)$$

Величина $\rho\mathbf{u}\mathbf{L}_\rho/c$ характеризует плотность мощности силы, т.е. работу в единицу времени на единицу объема.

Оказывается, что конструкция (16) является 4-вектором, так что L_ρ играет роль плотности 4-силы. Убедится в этом можно, выполнив переход от $(L_{\rho0}, \mathbf{L}_\rho)$ к $(L_0', \mathbf{L}')$ в соответствии с ПрЛ. Для этого надо проделать следующие вычисления:

- подставить в правые части равенств (16), взятые со штрихами, выражение для ρ' из ПрЛ, для **E′**, **H′** из (15), а также для **u′** из закона преобразования скоростей;

- сравнить полученный результат с правыми частями равенств (16) взятых без штрихов.

Тем самым, уравнения Максвелла-Лоренца, включая выражение для силы, действующей на единицу объема, форминвариантны. Инвариантность плотности 4-силы первым показал Пуанкаре.

Инварианты поля. Пуанкаре впервые показал, что из векторов E и H можно составить следующие инварианты поля:

$$H^2-E^2=inv \text{ и } \mathbf{EH}=inv \qquad (3.16в)$$

Из этих инвариантов следует:

- если в некоторой ИСО **E** и **H** взаимно перпендикулярны (**EH**=0), то они таковы и в любой другой ИСО;

- если **EH**=0, то найдется такая ИСО, в которой поле чисто магнитное (**E**=0) или чисто электрическое **H**=0 в зависимости от знака H^2-E^2. И наоборот, если в некоторой ИСО **E**=0 или **H**=0, то в любой ИСО они взаимно перпендикулярны;

- если в некоторой ИСО $H^2=E^2$, то это имеет место и в любой ИСО. Если при этом **EH**=0, то **E** и **H** в любой ИСО равны по величине и взаимно перпендикулярны.

3.2.3 Электродинамика и эфир

Понятие «скорость элементарного объема поля» можно:

(а) либо понимать как скорость перемещения в эфирном пространстве выделенных состояний потенциала φ при отсутствии пространственного перемещения элементов поля,

б) либо рассматривать как проявление реального перемещения элементов объема сжимаемой полевой жидкости со скоростью **ω**=с**A**/φ.

Второе более естественно, коль скоро мы с предполагаемыми перемещениями связали объяснения сил, действующих на заряд подобно силам инерции. Но так как в ЭфСТО эфирной среде предписано свойство неподвижности, то, приняв (б), мы в согласии с А. Эйнштейном придем к следующему: «электромагнитное поле представляет собой не состояние некоторой среды, а самостоятельно существующие реальности...» [1, с. 218][1].

---

[1] А. Эйнштейн. Эфир и теория относительности. –1920г

Это означает, что ЭМ-поле эфиром не является[1]. Поле в этом плане подобно весомой материи, не являясь ею. Так что весомая материя и поле являются особыми формами энергии.

Для иллюстрации смысла величин, характеризующих поле, используем пример Эйнштейна об изменении во времени волнистой поверхности, разделяющей воду и воздух. Его можно изучать на основе изучения движения элементарных объемов воды или как законы изменения поверхности самой по себе. При этом заранее не известно, возможно ли одно без другого, и даже не очевидно, что второе можно выразить в понятиях, не связанных с движением элементарных объемов воды. В отношении ЭМ-поля пример Эйнштейна, который он назвал «не совсем удачным», дает весьма наглядную аналогию. Уравнения в потенциалах можно интерпретировать как уравнения движения элементарных объемов поля, вызванного наличием источников поля. Поле либо привязано к веществу (зарядам) и перемещается вместе с ним, либо распространяется со скоростью света в виде электромагнитного излучения в *абсолютном пространстве эфира* (а больше негде).

Через параметры этого движения выражаются силы, действующие на заряды (напряженности **E** и **H**). И оказывается, что уравнения для этих сил выражаются через источники поля без использования величин, характеризующих движение элементарных объемов поля.

Движение элементарных объемов поля скрыто для непосредственного наблюдения. Динамика поля в напряженностях доступна наблюдению, но поведению силовых линий нельзя непротиворечиво приписать движение во времени. Но на уровне напряженностей поля световому сигналу можно приписать распространение в эфире возбужденного состояния.

Постулаты ЭфСТО о замедлении времени и об инвариантности собственных размеров тел определяют отношения эфира с ве-

---

[1] Когда (см., например, [14]) при анализе электромагнитных явлений считают их движением самого эфира, то приходится пространственную субстанцию, в которой происходит это движение называть эфиром следующего уровня.

ществом, а постулат о распространении света – отношение эфира с полем. Этими отношениями определяется геометрия псевдоевклидового пространства-времени. Измерения электромагнитных явлений выполняется с помощью вещественных приборов, которые адекватны этой геометрии, которой приписывается применимость не только по отношению к зарядам. То, что законы динамики поля и взаимодействия поля с зарядами зарядов адекватны этой геометрии, отражает глубокие универсальные свойства эфира, отраженные в постулатах ЭфСТО.

Причина псевдоевклидовой геометрии пространства при таком подходе лежит за пределами электродинамики. Точка зрения А.А. Логунова состоит в том, что пространство-время принципиально псевдоевклидово (без кривизны). Эта геометрия выявляется в электродинамических явлениях и индуктивно распространяется на все остальные явления. С позиции Эйнштейна метрику пространства-времени формируют поля тяготения – она может быть плоской или с кривизной (римановой). В любом случае, «отрицать эфир – это, в конечном счете, значит принимать, что пустое пространство не имеет никаких физических свойств. С таким воззрением не согласуются основные факты механики» [1, с.220].

Замечание. Так как **A** и **H** в принятой интерпретации связаны со скоростью движения элементов поля, то сразу становится понятной причина того, почему при изменении знака времени в уравнениях надо изменить знак **A**:

$$t \to -t \Rightarrow \varphi \to \varphi, \mathbf{A} \to -\mathbf{A} \mid \mathbf{E} \to \mathbf{E}, \mathbf{H} \to -\mathbf{H};$$

В рамках электродинамики причина этого не объяснена.

Другим примером, когда удобно опираться на трактовку $A=\varphi\omega/c$, является расчет магнитного поля движущегося заряда. Если заряд неподвижен в K'-системе, то в этой системе действует только стационарное кулоновское поле, для которого $A'=0$. В K-системе, относительно которой он движется со скоростью **v**, появится «ветер» поля со скоростью **v** во всех точках пространства, т.е. появляется векторный потенциал: $A_x=\varphi v/c$, $A_y=A_z=0$. Если сначала найти скалярный потенциал в K'-системе, то в K-системе поле **A** окажется вихревым, т.е. появится магнитное поле **H**=rot**A**.

Движение полевой среды дает интуитивно понятное качественное объяснение различию значений E и Y в разных ИСО (скорость движения поля в разных ИСО разная).

3.3. Общий взгляд на системы координат

Метрика (1) связана с ортогональной (галилеевой) координатной сеткой. Оставаясь в рамках псевдоевклидовой геометрии, можно использовать не ортогональные координатные сетки. Важные вопросы, связанные с физическим смыслом таких систем координат, обсуждаются в данном подразделе, опираясь на [2] и [3].

3.3.1 Физические и координатные величины

Обобщенные пространственные координаты. Напомним, что под понятием 'система координат' понимают систему отсчета (ИСО) совместно с используемой в ней координатной сеткой. Далее будут использоваться линейные системы координат, называемые *обобщенными*. Галилеевы координаты будем обозначать как (T, X, Y, Z), а обобщенные - как (t, x, y, z). *Математически допустимыми* системами координат и линейными преобразованиями от одних систем координат к другим являются те, которые сохраняют псевдоевклидову геометрию 4-пространства. Но не все математически допустимые координатные сетки могут оказаться *физически допустимыми*.

Далее для простоты рассматриваются только события на оси абсцисс ($Y=y=Z=z=0$). Преобразования координат имеют вид:

$$T=qx+pt;\ X=ax+bt, \tag{3.17}$$

причем на параметры q, p, a и b будут наложены необходимые ограничения. По ходу изложения будут даны комментарии к общему случае преобразований, включая нелинейные.

В галилеевой системе координат (X, T) метрика имеет вид $ds^2=c^2dT^2-dX^2$. Подставив сюда dX и dT из (17) получим:

$$ds^2=c^2g_{00}dt^2+2cg_{01}dxdt+g_{11}dx^2, \tag{3.18а}$$

где $g_{00}=p^2-b^2/c^2$, $g_{01}=c(pq-ab/c^2)$, $g_{11}=c^2q^2-a^2$. (3.18б)

Коэффициенты g_{00}, g_{01} и g_{11} называют компонентами метрического тензора для (x, t). Чтобы метрика осталась псевдоевклидовой, как минимум, должно быть $g_{00}>0$, $g_{11}<0$.

Если исходно задано не преобразование, а метрика пространства-времени в форме (18а), то можно найти такое преобразование вида (17), которое переведет эту метрику в галилееву. Для этого перепишем (18а) в виде:

$$ds^2=c^2(\sqrt{g_{00}}dt+g_{01}dx/c\sqrt{g_{00}})^2-(g_{01}^2/g_{00}-g_{11})dx^2. \qquad (3.19а)$$

Введя новые координаты $d\tau$ и dl:

$$d\tau=\sqrt{g_{00}}dt+(g_{01}/c\sqrt{g_{00}})dx;\ dl=\sqrt{(g_{01}^2/g_{00}-g_{11})}dx, \qquad (3.19б)$$

получим $$ds^2=c^2d\tau^2-dl^2, \qquad (3.19в)$$

где координаты $d\tau$ и dl являются галилеевыми. При этом (18б) неявно выражают 4 коэффициента a, b, p и q через 3 значения g_{00}, g_{01} и g_{11} без дополнительных ограничений неоднозначно.

Для произвольной системы координат псевдоевклидовая метрика пространства-времени имеет форму:

$$ds^2=\Sigma g\mu\nu dx\mu dx\nu \quad \text{где } \mu, \nu=0,1,2.3\,, \qquad (3.20А)$$

где $x_0=ct$, $\boldsymbol{r}=(x1, x2, x3)=(x,y,z)$, $g\mu\nu$ – метрический тензор.

Эту метрику можно всегда представлять как результат перехода от галилеевых координат (T,X,Y,Z) к заданным (t,x,y,z) с помощью функций (f_t, f_x, f_y, f_z) в общем случае нелинейных. Коэффициенты $g\mu\nu$ при этом будут в общем случае зависеть от координат. Однако по заданной в произвольных координатах (t,x,y,z) метрике пространства-времени можно подобно (19а, б, в) найти преобразование, которое осуществляет переход от заданных координат (t,x,y,z) к таким координатам $d\tau$ и dl, что новая метрика принимает галилеев вид $ds^2=c^2d\tau^2-dl^2$. Время в новой метрике отделено от части, связанной с пространственными координатами, а пространственная часть метрики определяет квадрат пространственного расстояния dl^2.

Преобразование координат в рамках той же ИСО. Частным случаем допустимых преобразований вида (17) является случай, при котором пространственные координаты преобразуются только внутри себя. В общем случае это может быть переход с помощью функции вида $\boldsymbol{r}'=f(\boldsymbol{r})$, а в данном частном случае $X=ax$, т.е. $b=0$. Это означает, что преобразование координат оставляет систему отсчета в рамках той же ИСО, а изменяется лишь координатная сетка. Тем самым, из (18б) имеем:

X=ax, T=pt+qx $\Rightarrow$ x=X/a, t=T/p-Xq/ap, (3.20а)

g_{00}=p^2, g_{01}=cpq, g_{11}=c^2q^2-a^2<0. (3.20б)

В этом случае три координаты p, q и a определяются однозначно через g_{00}, g_{01} и g_{11}.

Подставим значения коэффициентов из (20б) в (19б):

$d\tau$=pdt+qdx=dT, dl =adx $\Rightarrow d\tau$=dT, dl =dX. (3.20в)

Из (20в) следуют два свойства dτ:

а) $d\tau$ *не зависит от выбора координатного времени* ($d\tau$=dT). Это означает, что если в рамках той же инерциальной системы перейти от временной координаты t к новой координате t'=φ(t, ***r***), то переход от (t', ***r***) к галилеевым координатам методом (19а, б, в) даст то же значение $d\tau$=*dT* [3, с.144];

б) $d\tau$ совпадают с полными дифференциалами от dT и dX. Это означает, что *можно ввести не только локальное время $d\tau$, но и время τ по всему пространству* (подробнее в подразделе 3.3.2), так как для пары событий значение τ, определяемое как интеграл по пути между событиями, не будет зависеть от пути. Тем самым, можно реализовать соответствующую координатную сетку с помощью реальной процедуры синхронизации часов.

Считается, что указанные два свойства $d\tau$ говорят о том, что dl и $d\tau$ являются элементами *физического времени* и *физической длины*, в то время как негалилеевы координаты (t, x) самостоятельного физического смысла не имеют.

Координатная скорость. Рассмотрим точку, движущуюся в системе координат (x,t). Величину v=dx/dt назовем ее *координатной скоростью*, а скорость V=dl/$d\tau$ - *галилеевой* или *физической скоростью* точки в данной ИСО.

Так как для светового сигнала $c^2d\tau^2$-dl^2=0, то физическая скорость света равна по модулю <u>c</u> в обоих направлениях. Чтобы найти координатную скорость света c_x, приравняем (18а) нулю (нулевой тип интервала) и разделим на dt^2:

$$c^2g_{00}+2cg_{01}c_x+g_{11}c_x^2=0. \qquad (3.21а)$$

Откуда

$$c_1/c=[-g_{01}-\sqrt{(g_{01}^2-g_{11}g_{00})}]/g_{11}; \quad c_2/c=[-g_{01}+\sqrt{(g_{01}^2-g_{11}g_{00})}]/g_{11}, \qquad (3.21б)$$

где $c_1>0$ и $c_2<0$ – координатные скорости света соответственно в положительном и противоположном направлениях ($g_{11}<0$).

Итак,

существуют негалилеевые координатные сетки, в которых координатная скорость света различна в разных направлениях.

Так как корни квадратного уравнения (21а) связаны соотношением Виета, то $c_1+c_2=-2cg_{01}/g_{11}$; $c_1c_2=c^2g_{00}/g_{11}$. Откуда

$$g_{11}=g_{00}c^2/c_1c_2,\ g_{01}=-g_{00}c(1/c_1+1/c_2)/2. \qquad (3.22)$$

Тем самым, метрику (18а) с помощью (22) можно выразить через значения c_1 и c_2:

$$ds^2=c^2g_{00}[dt^2-(1/c_1+1/c_2)dxdt+(1/c_1c_2)dx^2]. \qquad (3.23)$$

Эта метрика при $c_2=-c_1=c$ (23) должна принимать галилеевый вид (1), что возможно только при $g_{00}=1$, т.е. при преобразованиях координат в рамках той же ИСО следует принять p=1. Так как из $c_2=-c_1$ должно иметь место $c_2=-c_1=c$, то между c_2 и c_2 должна существовать взаимосвязь, которая рассмотрена в подразделе 3.3.2.

Общий случай преобразования. Рассмотрим преобразование, при котором имеет место переход в другую ИСО. Пусть в некоторой «старой» ИСО с координатами (x,t) скорости света в направлениях «туда» и «обратно» заданы как c_1 и c_2, т.е. соотношение (23) является метрикой пространства-времени. Рассмотрим «новую» систему с обобщенными координатами ($x_н$, $t_н$). Пусть преобразование от новой системы координат к старой (x,t) имеют общий вид:

$$x=Ax_н+Bt_н;\ t=Qx_н+Pt_н. \qquad (3.24)$$

Определим такие коэффициенты в (24), чтобы метрика (23) сохраняла свою форму при переходе к новым координатам ($x_н$,$t_н$):

$$ds_н^2=c^2g_{00}[dt_н^2-(1/c_1+1/c_2)dx_нdt_н+(1/c_1c_2)dx_н^2]. \qquad (3.25)$$

Соотношения для искомых коэффициентов q, p, a и b получим, если подставим t и x из (24) в (23) и полученные при этом коэффициенты при $dt_н^2$, $dx_нdt_н$ и $dx_н^2$ сравним с соответствующими коэффициентами в (25). Но так как число коэффициентов в (24) равно 4, а число уравнений для коэффициентов равно 3, то остается один свободный коэффициент. Поскольку (24) означает переход в другую ИСО, то в качестве 4-го параметра возьмем относительную скорость υ двух ИСО из условия, что начало координат старой ИСО (x=0) движется в новой ИСО с координатной скоростью $-\upsilon$: $x=0 \Rightarrow x_н=-\upsilon t_н$. Проделав эти непростые выкладки, получим прямые и обратные преобразования [2, с.126]:

$$X=\Gamma(x_н+\upsilon t_н),\ t=\Gamma[t_н(1+\upsilon/c_1+\upsilon/c_2)-\upsilon x_н/c_1c_2]; \qquad (3.26а)$$

$$x_н=\Gamma[x(1+\upsilon/c_1+\upsilon/c_2)-\upsilon t],\ t_н=\Gamma(t+\upsilon x/c_1c_2); \qquad (3.26б)$$

где $\Gamma=1/\sqrt{[(1+\upsilon/c_1)(1+\upsilon/c_2)]}$. (3.26в)

Заметим, что в отличие от ПрЛ прямые и обратные преобразования не получаются просто заменой υ на $-\upsilon$.

Для материальной точки ее скорость в разных ИСО определяется как $\upsilon_н=dx_н/dt_н$ и $\upsilon_c=dx/dt$. Откуда можно получить преобразования для координатной скорости υ:

$$\upsilon_н=[(1+\upsilon/c_1+\upsilon/c_2)\upsilon_c-\upsilon]/[1+\upsilon_c\upsilon/c_1c_2]. \qquad (3.27)$$

При $c_1=-c_2=c$ имеем известное правило сложения скоростей:

$$\upsilon_н=(\upsilon_c-\upsilon)/[1-\upsilon_c\upsilon/c^2]. \qquad (3.28)$$

Из (27) при $c_2=-c_1$ следует $\upsilon_н=(\upsilon_c-\upsilon)/[1+\upsilon_c\upsilon/c_1c_2]$, что должно совпадать с (28), т.е. должно быть $c_2=-c_1=c$, что опять же говорит о том, что между c_1 и c_2 есть скрытая связь.

Физическую относительную скорость V двух ИСО можно выразить через координатную относительную скорость υ:

$$V=c(c_2-c_1)\upsilon/[2c_1c_2-(c_1+c_2)\upsilon]. \qquad (3.29)$$

При $c_1=-c_2=c$ имеем $V=\upsilon$.

Формулы преобразования обобщенных координат при переходе из одной ИСО в другую можно выразить также и через значение физической относительной скорости V.

Из данного анализа следует, что

форминвариантная метрика (23) определяет множество ИСО с такими идентичными координатными сетками, в которых скорость света в направлении оси x имеет значение c_1, а в противоположном направлении - c_2.

Это непосредственно следует также из (27): $\upsilon=c_1$ дает $\upsilon_н=c_1$, а $\upsilon=c_2$ дает $\upsilon_н=c_2$. Скорости c_1 и c_2 являются предельными скоростями в соответствующих направлениях.

Каждая из этого семейства физически подобных инерциальных систем отсчета не изотропная внутри себя с позиции скорости распространения в ней светового сигнала.

Неинерциальные системы отсчета. Функции (f_t, f_x, f_y, f_z) могут определять новую систему координат (t,x,y,z) как инерциальную или неинерциальную. В общем случае преобразования (f_t, f_x, f_y, f_z) приводят к неинерциальной системе отсчета. В этом случае величина $d\tau$ не является полным дифференциалом от $f_t(t,\mathbf{r})$. Поэтому $d\tau$ имеет локальный характер для каждой точки пространства-времени, и нельзя ввести собственное время τ между событиями, поскольку оно будет зависеть от пути между ними в 4-пространстве. Это означает, что в неинерциальной системе отсчета невозможна синхронизация часов с помощью светового сигнала по всему ее пространству. Но это не исключает возможности описания физических явлений в инерциальных системах отсчета.

В [2] и [3] это проиллюстрировано на пример метрики равноускоренной системы отсчета. Рассмотрена также задача о «парадоксе» близнецов, в которой П-брат совершает путешествие, выполняя равноускоренные разгоны и торможения. При этом показано, что анализ задачи возможен как с позиции инерциальной ИСО Д-брата, так и с позиции неинерциальной системы П-брата. При этом замедление времени у П-брата одно и то же.

Подход МинСТО, таким образом, позволяет сформулировать обобщенный принцип относительности: «какую бы физическую систему отсчета мы не избрали (инерциальную или неинерциальную), всегда можно указать бесконечную совокупность других систем отсчета, таких, в которых все физические явления протекают одинаково с исходной системой отсчета...» [3, с.48].

3.3.2 О реализации обобщенных координат

Измерительная процедура Рейхенбаха (ИПР). В обобщенных координатах координатная скорость света в ИСО может быть различной в различных направлениях. Но «... *хотя выбор координат и является произвольным, эти координаты должны быть допустимыми, т.е. позволяющими реализовать соответствующую координатную систему с помощью физических процессов*» [2,с.118]. Поэтому задача состоит в том, чтобы определить формулы для вычисления момента времени события (синхронизация часов) и расстояния до него через значения величин, непосредственно измеряемых наблюдателем. Этими величинами являются значения момента излучения и момента приема сигнала локации события.

Пусть в начале координат некоторой ИСО находится наблюдатель с локатором и часами. Он ставит задачу произвести арифметизацию координатной сетки этой ИСО по оси X, исходя из того, что световой луч движется со скоростью c_1 в направлении оси X и со скоростью c_2 в обратном направлении ($c_2<0$). Если r - расстояние до события, а t - момент времени, который надо ему приписать, то моменты излучения $t^л_И$ и приема $t^л_П$ сигнала локации по часам локатора должны определяться из соотношений:

$$t^л_И = t - r/c_1, \quad t^л_П = t - r/c_2.$$

Откуда r и t определяются из соотношений:

$$t = t^л_И + \varepsilon_t(t^л_П - t^л_И), \quad r = \varepsilon_x(t^л_П - t^л_И), \qquad (3.30а)$$

где $\varepsilon_t = c_2/(c_2-c_1)$, $\varepsilon_x = c_1c_2/(c_2-c_1)$, причем $0<\varepsilon_t<1$. (3.30б)

Так как физическая скорость $\underline{c}$ определяется соотношением $c=2r/(t^л_П - t^л_И)$, то c_1 и c_2 связаны соотношением:

$$\varepsilon_x = c_1c_2/(c_2-c_1) = c/2 \Rightarrow 1/c_1 - 1/c_2 = 2/c \qquad (3.30в)$$

В частности, из $c_2=-c_1$ следует $c_2=-c_1=c$ и, тем самым, получаем ИПЭ: $\varepsilon_t=1/2$, $\varepsilon_x=c/2$.

Соотношения (30а, б) при $\varepsilon_t \neq 1/2$ определяют *измерительную процедуру Рейхенбаха* (ИПР).

В ЭфСТО показано, что в любой ИСО произведение $t^c_П t^c_И$ должна сохранять свое значение (см. подраздел 1.5.1). Проверим, действительно ли измерительная процедура (30) обеспечивает инвариантность $t^л_П t^л_И$ при преобразованиях координат. Проверим, инвариантна ли эта величина в условиях интервала (23). Выразив s^2 через $t^л_П$, $t^л_И$ и c_1, c_2 с помощью (30а, б), получим

$$s^2 = c^2 g_{00}[t^2 - (1/c_1 + 1/c_2)xt + (1/c_1c_2)x^2] = c^2 g_{00} t^л_П t^л_И. \qquad (3.30в)$$

Таким образом, измерительная процедура Рейхенбаха (30а, б) обеспечивает инвариантность $t^c_П t^c_И$ только при $g_{00}=1$, что при преобразованиях в той же ИСО ($b=0$) имеет место при $p=1$. Раньше также было обращено внимание на то, что метрика при $g_{00}\neq 1$ не совместима с галилеевой для частного случая $c_1=-c_2$.

Примеры. Из изложенного выше ясно, что для расчета ε_t и ε_x нужно воспользоваться нижеследующими соотношениями, которые получены ранее (здесь они выписаны с прежними номерами и со звездочкой):

T=qx+pt; X=ax+bt, (3.17*)

$g_{00}=p^2-b^2/c^2>0$, $g_{01}=cpq-ab/c$, $g_{11}=c^2q^2-a^2<0$, (3.18б*)

$c_1/c=[-g_{01}-\sqrt{(g_{01}^2-g_{11}g_{00})}]/g_{11}$; $c_2/c=[-g_{01}+\sqrt{(g_{01}^2-g_{11}g_{00})}]/g_{11}$, (3. 21б*)

$\varepsilon_t=c_2/(c_2-c_1)$, $\varepsilon_x=c_1c_2/(c_2-c_1)$, (3.30б*)

$t=t^л{}_И+\varepsilon_t(t^л{}_П-t^л{}_И)$, $r=\varepsilon_x(t^л{}_П-t^л{}_И)$. (3. 30а*)

Замечание. Значения c_1 и c_2 можно выразить непосредственно через коэффициенты преобразования, подставив (21б*) в выражения для коэффициентов g из (18б*).

Эти соотношения можно получить также без посредничества негалилеевой метрики (18а). В самом деле, для светоподобного интервала $c^2dT^2-dX^2=0$, т.е.

$$dX/dT=c \text{ и } dX/dT=-c. \qquad (3.31а)$$

Подставим в (31а) выражения для X и T из (17*), разделим на dt и обозначим dx/dt как c_1 и c_2 соответственно для первого и второго соотношений (32а):

$$(ac_1+b)/(p+qc_1)=c;\ (ac_2+b)/(p+qc_2)=-c; \qquad (3.31б)$$

Отсюда следуют соотношения для c_1 и c_2::

$$c_1=(b-cp)/(cq-a),\ c_2=-(b+cp)/(cq+a). \qquad (3.32)$$

В таблице приведены расчеты для трех случаев: преобразование в рамках той же ИСО, преобразование Лоренца и преобразование Галилея.

Расчет ε_t и ε_x	1. Пр. Лоренца	2. В той же ИСО	3.Пр. Галилея
Преобразование координат	$X=\gamma_v(x-vt)$, $\|v\|<c$ $T=\gamma_v(t-xv/c^2)$.	$X=ax$, $\|w\|<c$ $T=t+wx/c^2$	$X=x-ut$, $\|u\|<c$ $T=t$
a, b, p, q	$p=a=\gamma_v$, $b=-\gamma_v v$, $q=\gamma_v v/c^2$	a, p=1, b=0, $q=w/c^2$	a=p=1, q=0 b=-u
g_{00}, g_{01}, g_{11} из (18б)	$g_{00}=1$, $g_{01}=0$, $g_{11}=-1$;	$g_{00}=1$, $g_{01}=w/c$, $g_{11}=-(a^2-w^2/c^2)$	$g_{00}=1-u^2/c^2$, $g_{01}=u/c$, $g_{11}=-1$
c_1 и c_2 из (21б)	$c_1=c$ $c_2=-c$	$c_1/c=1/(a-w/c)$, $c_2/c=-1/(a+w/c)$	$c_1=c+u$, $c_2=-c+u$
ε_t и ε_x из (30б)	$\varepsilon_t=1/2$, $\varepsilon_x=c/2$	$\varepsilon_t=(1-w/ac)/2$, $\varepsilon_x=c/2a$	$\varepsilon_t=(1-u/c)/2$, $\varepsilon_x=c(1-u^2/c^2)/2$

Смысл процедуры Рейхенбаха. Проанализируем результаты этих трех преобразований.

1. Преобразование Лоренца. Для ПрЛ условия ε_x=c/2 (30в) и g_{00}=1 выполняются, обеспечивается также инвариантность $t^Л{}_П t^Л{}_И$ (30г). Процедура Рейхенбаха (30а, б) переходит в ИПЭ. Но применение ИПЭ в исходной ИСО не создает имитацию перехода в другую ИСО, т.е. ИПР в не адекватна заданному преобразованию координат в виде ПрЛ.

2. Преобразование координатной сетки в той же ИСО. В этом случае инвариантность $t^Л{}_П t^Л{}_И$ обеспечивается, а условие ε_x=c/2 будет выполнено при a=1. Это означает, что при преобразовании в рамках той же ИСО необходимо сохранить инвариантность длины для пространственного расстояния:

$$T=t+x\mathrm{w}/c^2,\ X=x \quad \Rightarrow \quad x=X,\ t=T-X\mathrm{w}/c^2 \qquad (3.33а)$$

Преобразование (33а) может быть реализовано за счет того, что сначала измеряют галилеевы координаты X и T события по данным $T_И$ и $T_П$ в соответствии с ИПЭ:

$$X=c(T_П-T_И)/2,\ T=(T_П+T_И)/2 \qquad (3.33б)$$

А затем наблюдатель вычисляет (x, t) через измеренные галилеевы координаты X и T по соотношениям (33а):

$$x=c(T_П-T_И)/2,\ t=T_И+(1-\mathrm{w}/c)(T_П-T_И)/2 \qquad (3.33в)$$

Сравнив с (30а*), получим ε_t=(1-w/c)/2 и ε_x=c/2, как в таблице при a=1. Соотношения (33в) определяют непосредственное вычисление x и t, удовлетворяющие желаемым значениям c_1 и c_2.

3. Преобразование координат с переходом в другую ИСО (преобразование Галилея):

$$T=t,\ X=x-\mathrm{u}t \quad \Rightarrow \quad t=T,\ x=X+\mathrm{u}T \qquad (3.34а)$$

В этом случае условие ε_x=c/2 не выполняется и нарушается инвариантность $t^Л{}_П t^Л{}_И$ ($g_{00}\neq 1$). Это означает, что скорость света, измеренная на пути «туда и обратно» не равна c.

Действуя тем же методом, которым получено (33а) через промежуточное измерение X и T, мы не получим тот же результат, что в колонке 3. Это видно уже из того, что из $t=T$ и, тем самым, из (33б) следует, что ε_t=1/2, а не ε_t=(1-v/c)/2 как в таблице.

А какой смысл при этом имеет процедура Рейхенбаха? *Нужно признать, что она не соответствует своему назначению.* В самом деле, она имела бы смысл, если бы определяла то, как в системе координат (x, t) выглядит исходная система координат (X,T). Точнее говоря, ИПР должна, во-первых, определять новую систему координат (x, t) как некоторую $ИСО_2$, движущуюся относительно исходной галилеевой ИСО, и некоторую негалилеевую координатную сетку в $ИСО_2$. Во-вторых, координатам события, заданным в исходной $ИСО_1$, в новой системе координат (x, t) должны соответствовать координаты, совпадающие теми, которые дает ИПР (30а*).

Но этого нет, что наглядно видно на примере ПрЛ и преобразований Галилея. Причина этого в том, что модель, использованная при выводе соотношений (30а, б) не применима для наблюдателя, движущегося относительно места события в исходной $ИСО_1$, так как за время $t^{Л}_{П}-t^{Л}_{И}$ расстояние r изменится. Процедура Рейхенбаха лишь обеспечивает имитацию в системе координат (x, t) заданных скоростей света c_1 и c_2.

Преобразование КЗОП. В подразделе 1.1.2 при обсуждении синхронизации часов путем их медленного переноса из одной точки был упомянут принцип натуральной синхронизации, который не опирается ни на синхронизацию часов световым сигналом, ни на их синхронизацию путем медленного переноса, и при этом обеспечивает абсолютность одновременности во всех системах отсчета. Модель, опирающаяся на наличие АСО, этот метод синхронизации и постулаты ЭфСТО о замедлении времени и фицджеральдовом сокращении размеров тел названа Абсолютом [26].

Для этой модели переход к ИСО от ЭСО определяется преобразованиями:

$$x^c=\gamma_V(x-Vt),\ t^c=t/\gamma_V,\ y^c=y,\ z^c=z. \qquad (3.35а)$$

которые носят название *преобразований Купряева-Обухова-Захарченко* (КОЗП) [26]. Они не обладают групповыми свойствами.

На соотношения (3.35а) можно смотреть как на переход от от галилеевой системы координат (x, y, z, t) к обобщенным координатам (x^c, y^c, z^c, t^c), то можно найти преобразования от этих обобщенных координат к галилеевым координатам (X', Y', Z', T') аналогично, например, тому, как это было сделано в подразделе 2.2.3 для преобразований Галилея в качестве промежуточных. В результате получим:

$$T'=t^c-x^c\mathrm{v}/c^2,\ X'=x^c;\ Y'=y^c,\ Z'=z^c$$

В целом переход от (x, y, z, t) к (X', Y', Z', T') – это ПрЛ. Таким образом, в КОЗП по сравнению с ПрЛ отсутствует сдвиг времени $T'=t^c-x^c V/c^2$, который порождает относительность одновременности. При желании можно найти анизотропные значения скорости света для КОЗП и параметры процедуры Рейхенбаха.

На данном примере наглядно видно, что за КОЗП не имеет физического смысла. В самом деле, ни методу натуральной синхронизации и соответствующей ему процедуре Рейхенбаха не соответствует реальный физический процесс синхронизации. При этом как было показано в подразделе 1.1.2 исходным предположениям о замедлении времени и фицджеральдовом сокращении, принятым в КОЗП, соответствует реализуемая процедура синхронизации путем медленного переноса часов, которая дает сдвиг времени в ИСО, равный $-x^c V/c^2$. Эта поправка к КОЗП приводит к имеющей физический смысл галилеевой системе отсчета и ПрЛ соответственно.

Обсуждение. Тем самым, для преобразований, выводящих за рамки исходной ИСО, цель «реализовать соответствующую координатную систему с помощью физических процессов», заявленная в начале текущего подраздела 1.3.2, не достигнута.

Однако преобразования, не выводящие наблюдателя из своей ИСО, при $\varepsilon_x=c/2$ и $g_{00}=1$ корректны. Формально говоря, для скорости света в конкретном направлении можно приписать значение, отличающееся от <u>c</u>, так как по представлениям ЭйнСТО эту величину практически измерить все равно нельзя. При этом важно обратить внимание на то, что, хотя есть свобода выбора способа синхронизации, но нет свободы в выборе способа измерения расстояний: $r=c(t^л_П-t^л_И)/2$. Создается впечатление, что ИПЭ с его $\varepsilon_t=1/2$ является лишь более удобным допустимым выбором не более обоснованным, чем ИПР при $\varepsilon_r \neq 1/2$. Но это не так. ИПР – это ничем реально не обоснованное, хоть и непротиворечивое предположение. Оно реализовано лишь желаемой формулой, а не «с помощью физических процессов». ИПЭ в отличие от ИПР изотропия скорости света может быть подтверждена путем измерения времени прохождения светового сигнала между двумя часами, синхронизованными сначала в одной точке, а потом медленно разнесенными (см. раздел 1.6.).

При постулировании геометрического подхода возникает ощущение полного равноправия временной и пространственных координат и, тем самым, возможности равноправного использования координатных величин. «Синхронизация часов в разных пространственных точках формально должна осуществляться с помощью координатной скорости. В литературе (особенно философской) этот вопрос часто обсуждается. С нашей точки зрения, этот подход не имеет физического смысла, поскольку он оперирует не с физическими, а с координатными величинами» [3, с.147]. Однако этот вывод сделан А.А. Логуновым на основе «математических ухищрений», опирающихся на (19) и свойства $d\tau$, что не воспринимается как физически убедительные для физически понятного разделения величин на физические и координатные.

В [2] и [3] при анализе процедуры Рейхенбаха не отражен ряд важных моментов. Анализируется только синхронизацию часов без учета соотношения для расстояния. Модель процедуры Рейхенбаха, применимая только для неподвижного относительно исходной ИСО наблюдателя, неправомерно применяется к преобразованиям, выводящим из исходной ИСО. Не учтена связь ε_r=c/2 между величинами c_1 и c_2 для преобразований в рамках той же ИСО. Не показана реальная возможность проверки изотропии скорости света с помощью двух часов, синхронизованных путем их медленного переноса из общей точки.

Сказанное не исключает использование обобщенных координат там, где это математически удобство для решения конкретной задачи безотносительно к задаче «реализовать соответствующую координатную систему с помощью физических процессов».

4. ОБЗОР И ОБСУЖДЕНИЕ

Все расхождения лежат в области возможных интерпретаций одной и той же физической теории.

А.А. Тяпкин

Что касается меня, то я, во всяком случае, нашел удовлетворение в самом процессе своих усилий.

А. Эйнштейн

1. Обзор подходов

Подход Лоренца. Лоренц и А. Пуанкаре «в основном стремились показать и показали, при каких предположениях равномерное движение тел относительно эфира будет совершенно незаметно» (*В.Л. Гинзбург*).

Лоренц сначала перешел в уравнениях Максвелла-Лоренца от эфирной системы отсчета (ЭСО) к движущейся ИСО с помощью преобразований Галилея, т.е. рассмотрел уравнения электродинамики в масштабах ЭСО (в *истинной* системе координат). Затем он ввел внутри этой системе координат *местную* систему координат и предложил некое преобразование, связывающее местные координаты с истинными. Отличие местных координат от истинных считалось проявлением скрытых за ними физических эффектов взаимодействия с эфиром. В результате были получены преобразования от истинных координат к местным - преобразования Лоренца (ПрЛ). Они трактовались как преобразования от координат события в движущейся системе к его координатам в идентичной физической системе, неподвижной относительно эфира. На базе этих преобразований затем были вычислены преобразования для величин, характеризующих состояние ЭМ-поля. В результате уравнения поля для движущейся физической системы K' и неподвижной относительно эфира системы K совпали.

По мнению многих авторов, эфирный путь, избранный Лоренцем, не был пройден до конца по следующим причинам:

- ПрЛ были получены фактически математическим подбором, обеспечивающим поставленную цель. И хотя Лоренц, отталкиваясь от опыта Майкельсона, объяснял, что имеет место сокращение размера тел в направлении их движения, но в целом физический смысл эффектов, связанных с движением относительно эфира, не был выявлен, т.е. аксиоматизированная теория на базе таких эффектов не была создана;

- не была явно сформулирована позиция, которая определяет такую измерительную процедуру, при которой в условиях эфирных эффектов значения координат события, измеренные в движущейся и неподвижной ИСО, связаны найденными преобразованиями;

- не удалось явно увидеть относительность релятивистских эффектов, т.е. признать равноправие всех систем отсчета (даже А. Пуанкаре, значительно продвинувшийся на пути, предложенном Лоренцем, это отчетливо не сформулировал).

По мнению проф. А.А. Тяпкина [18, с.653], этот путь *пройти полезно и сейчас*, причем «предварительный этап описания физических явлений в рамках прежних представлений имеет первостепенное значение», так как «непременным условием непосредственного сопоставления всегда было использование единых масштабов измерения сравниваемых величин».

Подход ЭйнСТО. Эйнштейн предложил аксиоматизированную теорию, основанную на постулатах относительности и постоянства скорости света во всех ИСО. При этом он требовал, чтобы понятиям, связанным с пространством и временем, соответствовали реальные процедуры измерения координат событий в условиях конечной скорости света.

В предыдущих разделах обращалось внимание на трудности понимания II-постулата, основным из которых является ее релятивистская платформа. Эта платформа является причиной того, что речь о скорости света идет в ситуации, при которой вопрос об измерении длины и промежутков времени не объяснен. С 'относительностью' связывают слова 'равноправие ИСО', которые затем ошибочно трактуют как их тождественность. Сокращение размеров тел и замедление времени, вытекающие из постулатов ЭйнСТО, не рассматриваются как причинно обусловленные.

Однако, кроме указанных проблем методологического характера, есть проблемы более принципиальные. *«Положение о постоянстве скорости света, которое А. Эйнштейн использовал как второй постулат,* ***не дает возможности получить инвариант*** *J, а следовательно, с его помощью нельзя установить и преобра-*

зования Лоренца для любых значений переменных t, x, y, z. Максимум, что можно получить – это преобразования Лоренца только на световом конусе, когда J=0...» [3, с.93].
В частности, по А.А. Логунову «сокращение размеров стержней не является следствием двух постулатов Эйнштейна», так как оно «связано с отрицательным J» [3, с.94]. Это утверждение есть, по существу, непризнание ЭйнСТО на корню.

В разделе 2.2 показано, что типовые выводы ПрЛ, использованные в литературе по СТО, некорректны, так как в них содержатся следующие ошибки:

- неправомерно приравнивают два равных нулю выражения, определяющие распространение фронта световой волны в двух ИСО, чтобы показать инвариантность интервала;

- принимает преобразования, раздельно полученные для (x,t) и (y,z), в качестве преобразований для произвольных (x,y,z,t). Но это неправомерно без предварительно доказанной инвариантности интервала. При этом анализ распространения светового сигнала под углом к скорости источника не дает возможности однозначно найти искомые коэффициенты преобразования для произвольного угла;

- во всех случаях анализ опирается только на нулевой интервал между событиями.

Глас вопиющего: Обращаю внимание «широкой общественности» на некорректность вывода ПрЛ в ЭйнСТО

Автором, однако, предложен «правильный» вывод ПрЛ (см. раздел 2.3). Он аналогично подходу ЭфСТО сопоставляет измерения координат события произвольного типа (а не только связанного с распространением светового сигнала) в двух ИСО. Этот вывод опирается на *замедление времени в движущейся ИСО*, постулат относительности и II-постулат. ***Однако*** для этого надо либо явно постулировать замедление времени в движущейся ИСО, либо явно указать (фактически постулировать), что линейные преобразования общего линейного вида, которые в ЭйнСТО считают следствием постулата об однородности и изотропности пространства и однородности времени, содержат уже в себе эффекты замедления времени и относительности одновременности.

Подход ЭфСТО. В предложенном автором эфирном подходе, отталкиваясь от идеи существования эфира, устранены три названных выше обстоятельства, трактуемые как незавершенность пути Лоренца-Пуанкаре:

1) ЭфСТО имеет аксиоматизированную форму – подход основан на трех постулатах:

- *постулат о распространении света в эфире*: любое взаимодействие между удаленными телами, происходит в эфирном (абсолютном) пространстве со скоростью, не зависящей от скорости движения своего источника и равной $\underline{c}$ во всех направлениях;
- *постулат о замедлении времени*: темп протекания любого локального процесса, выполняющегося на точечном вещественном носителе, определяется только его скоростью V движения относительно эфира в функции $\chi_V=\sqrt{(1-V^2/c^2)}$;
- *постулат о размерах движущихся тел* (гипотеза Фицджеральда-Лоренца): тело, неподвижное относительно эфира, при сообщении ему скорости сокращает свои размеры в направлении вектора V в соответствие с коэффициентом χ_V.

2) ЭфСТО на основании своих постулатов ставит задачу выяснить физический смысл эталонов длины и времени. При этом вначале выдвигается требование существования процедуры для автономного определения координат события, основываясь на использовании светового сигнала. Это означает, что измерение координат события в каждой ИСО должно выполняться путем взаимодействия наблюдателя только с самим событием и не должно опираться на данные о движении наблюдателя относительно ЭСО. Так как измерительная процедура должна быть применима также в ЭСО, то она определяется однозначно: расчет момента времени и расстояния до события в любой ИСО производится по данным локации события (измерительная процедура Эйнштейна - ИПЭ).

3) на основе первых двух постулатов и ИПЭ для события, заданного координатами в ЭСО, можно найти его координаты, которые будут измерены методом локации в движущейся ИСО в масштабах ЭСО. При этом координаты в ИСО оказываются связанными с координатами в ЭСО преобразованиями Лоренца. Из групповых свойств этого преобразования следует, что преобразование координат удовлетворяет требованию автономности изме-

рительной процедуры. Это также означает ‘равноправие/симметрию’ ИСО в том смысле, как их трактует ЭйнСТО.

При этом в ЭфСТО существенную роль играет постулат о замедлении времени, в то время как Лоренц ориентировался на сокращение длины тел в направлении движения.

Выявлен также фундаментальный инвариант СТО – интервал между двумя событиями.

Заметим, что при выводе ПрЛ и доказательстве инвариантности интервала показано, что хотя измеренные в разных ИСО значения момента $t_И$ излучения сигнала локации события и момента приема $t_П$ отраженного сигнала разные, но при этом их произведение $t_И t_П$ является инвариантом.

Из групповых свойств полученных преобразований следует, что они имеют силу для любой пары ИСО, если в качестве их относительной скорости использовать релятивистскую относительную скорость.

Опора на ИПЭ, однако, несет в себе черты «умозрительности», заключающиеся в том, что эталоны определены не в виде явных вещественных масштабов, а с использованием формул над данными процедуры локации события. Однако, опираясь на третий постулат, показано, что ИПЭ адекватно вещественным эталонам и физическому закону постоянства скорости света в любой ИСО.

Возможность вывода ПрЛ без использования третьего постулата и последующий учет третьего постулата позволяют выявить частично самостоятельную роль первых двух постулатов и роль третьего постулата.

<u>Следствия постулатов</u>. Из постулатов наглядно видно, как возникают эффекты относительности:

- постулат о часах определяет эффект относительности одновременности при синхронизации часов путем их медленного переноса;
- ИПЭ адекватна синхронизации часов методом медленного переноса в условиях первого постулата;
- постулат о часах и первый постулат (о распространении света в эфире) релятивирует продольный эффект Доплера (превращает классический эффект в релятивистский);
- постулат о сокращении размеров тел и первый постулат релятивирует аберрацию света;
- ПрЛ следуют из постулата о часах и первом постулате;

- релятивистская относительная скорость, трактуемая как производная от пути по времени, оказывается адекватной расчетной скорости, выявленной при анализе продольного эффекта Доплера.

Событийная относительность. Из двух первых постулатов (из ПрЛ) следует *принцип относительности событийной кинематики*, т.е. невозможность обнаружить движение относительно эфира на уровне таких явлений, закономерности которых связаны только с кинематикой материальных точек. Такая релятивность означает *событийное равноправие* всех ИСО: собственное пространство и время в каждой ИСО является изотропным и однородным, причем явления в каждой ИСО протекают так, как будто они происходят в ЭСО. Это «равноправие» ИСО, однако, не есть их тождество, которое имело место в классическом принципе относительности, а событийное *подобие*. Это подобие в физическом плане есть следствие универсального характера постулируемых эффектов и специальной зависимости замедления темпа хода локальных процессов. Сами эффекты, естественно, никуда не делись. В частности, в каждой ИСО имеет место свой собственный темп хода часов, что явно проявляется в парадоксе близнецов.

Кинематическая относительность. С позиции ЭфСТО надо отдельно рассмотреть *событийные явления*, которые характеризуются набором точечных событий, и *протяженные объекты (тела)*. Для событийных явлений из двух постулатов ЭфСТО следует адекватность эффекта замедления времени при пассивном и активном преобразованиях (перенос часов из одной ИСО в другую). Однако тело в рамках двух постулатов ЭфСТО - это некая «вещь в себе» - набор точек, локальные процессы в которых причинно не связаны. И здесь возможны разные гипотезы, независимые от первых двух постулатов, относительно того, что происходит с размерами тела при изменении его скорости или повороте:

1) гипотеза Майкельсона о неизменности истинных размеров тел. При этой гипотезе принцип относительности для явлений с телами не будет выполняться. При этом значение скорости света,

присутствующее в первом постулате, означало бы скорость, измеряемую относительно эфира;

2) гипотеза Фицджеральда-Лоренца о сокращении размеров тел в направлении их движения относительно эфира. При этой гипотезе

На основе экспериментальных данных с интерферометрами вторая гипотеза принята в качестве третьего постулата. Дополнив принцип относительности событийной кинематики гипотезой Фицджеральда-Лоренца в качестве третьего постулата, получим то, что назовем *принципом кинематической относительности*. Он означает, что принцип относительности при этом будет выполняться не только для кинематики событий, но также для кинематики тел.

В рамках первых двух постулатов ЭфСТО третий постулат эквивалентен тезису Эйнштейна:

собственная длина идеально упругого стержня остается неизменной при изменении его инерциального состояния с одного в другое путем переноса, поворота или изменения скорости.

Это означает, что измерения с помощью ИПЭ длины одного и того стержня, переносимого в разные ИСО, дадут один и тот же результат. Тем самым, любой экземпляр эталона часов и эталона длины в виде бруска при переносе их из одной ИСО в другую остаются эталонами и в новой ИСО. Это эквивалентно утверждению, что постоянство скорости света во всех ИСО имеет физический смысл, не связанный с формулами ИПЭ.

Третий постулат ничего не добавляет непосредственно в отношении ПрЛ и инвариантности интервала. Но с его учетом наглядно демонстрируется, что форминвариантность законов определенного круга явлений (в данном случае событийных), вообще говоря, не гарантирует выполнение принципа относительности даже для кинематических явлений, в которых участвуют тела.

Отметим в целях дальнейшего обсуждения три принципа, вытекающие из исходных положений ЭфСТО:

- *относительность кинематических явлений*;

- *постоянство скорости света в любой ИСО, как физический закон*;

- *инвариантность пространственно-временного интервала.*

Подход МинСТО. На базе инвариантности интервала, открытого А. Пуанкаре, А. Минковский открыл псевдоевклидову *геометрию пространства-времени*. По современным представлениям сущность (постулат) СТО состоит в том, что пространство и время образуют единый четырехмерный континуум *событий*, геометрия которого псевдоевклидова, и *все процессы протекают в этом пространстве-времени.* Точками в этой геометрии служат события. Координаты события задают *4-вектор события*, причем одна координата связана со временем, а 3 координаты - с пространством. Интервал играет роль расстояния между двумя точками пространства-времени, т.е. задает метрику пространства-времени. Промежутки времени и расстояние в 3-пространстве – это проекции интервала. В псевдоевклидовом пространстве вводятся такие геометрические объекты как 4-векторы и тензоры, которые служат математическими образами физических величин, а не только событий. Из инвариантности интервала следуют ПрЛ.

Уравнения релятивистской динамики материальной точки, уравнения ЭМ-поля и других полей будут удовлетворять принципу относительности, если они форминвариантны по отношению к любой системе допустимых *физически идентичных систем координат.* Геометрические объекты псевдоевклидового пространства (векторы и тензоры) могут моделировать физические объекты и состояния. Геометрия пространства-времени определяет правила преобразования этих геометрических объектов при переходе из одной ИСО в другую. Существенное достижение подхода МинСТО в том, что он дает ясное геометрическое понимание того, как математически должен обеспечиваться принцип относительности. Требуемая форминвариантность уравнений, определяющих законы природы, будет обеспечена, если эти уравнения можно выразить через векторы и тензоры псевдоевклидовой геометрии.

МинСТО обосновывает свой подход, опираясь на уравнения электродинамики. «Система уравнений электродинамики, включая силу Лоренца, записывается через векторы и тензоры четырехмерного пространства-времени. Представления о пространстве-времени, которые открыты на основе изучения электромагнитных явлений, можно теперь как гипотезу распространить на все физические явления и, в первую очередь, на механические» [2, с.73].

Исходно определенной считается галилеева (ортогональная) метрика, связанная с ортогональными пространственно-временными координатами события. Взгляд на физику пространства-времени как на геометрию дает возможность формально использовать любые системы координат, совместимые с этой метрикой. В частности, показано, что имеются такие координатные сетки, что если их принять во всех ИСО, то в каждой из этих ИСО скорость света c_1 в направлении оси X не равна модулю ее скорости c_2 в противоположном направлении. Такой анизотропии скорости света соответствует неортогональная форма псевдоевклидовой метрики, которая сохраняет свою форму для указанного множества систем координат, причем коэффициенты этой метрики выражаются через c_1 и c_2. Этой метрике соответствует процедура синхронизации часов Г. Рейхенбаха, отличающаяся при $|c_1| \neq |c_2|$ от ИПЭ. При этом только в галилеевых системам координат скорость света постоянна во всех направлениях. Процедуре синхронизации Эйнштейна и, как следствие, промежуткам времени и длинам только в галилеевых системах координат можно приписать физический смысл. Тем самым, надо различать координатные и физические величины.

2. *Сопоставление подходов*

ЭМ-поле, представленное уравнениями Максвелла-Лоренца, является той базовой областью явлений, которые послужили созданию СТО. Все четыре выше рассмотренных подхода – это результат извлечения из этих уравнений неких универсальных принципов (явного, как у Лоренца, или неявного, как в ЭйнСТО и ЭфСТО).

Разные подходы, опираясь на разных исходных положениях, порождает не только отличающиеся интерпретации физической реальности, но имеют разный объем непосредственно (дедуктивно) вытекающих из них следствий. Переходя от конкретных постулатов к другим можно обнаружить нечто дополнительное или что-то потерять. Это дополнительно появившееся требует индуктивного обоснования своей правомочности, а потерянное, но справедливое, требует дополнительного постулирования.

Нижеследующее рассматривается с этих позиций.

Принцип относительности. ЭфСТО, по существу, решает задачу показать, как из представлений об абсолютном пространстве и трех постулатов возникает принцип относительности в рамках кинематических явлений. Это дает ясное понимание того, что системы отсчета не тождественны друг другу, а лишь кинематически подобны.

В ЭйнСТО принцип относительности исходно постулирован как «универсальный». В этом отношении постулат относительности в ЭйнСТО в его физической формулировке сильнее принципа кинематической относительности ЭфСТО.

Математические требования, вытекающие из принципа относительности, не было до конца понято не только Лоренцем, но и Эйнштейном. Так Эйнштейн, выявив те преобразования для напряженностей электромагнитного поля, которые обеспечивают форминвариантность уравнений Максвелла, не счел необходимым доказать групповые свойства этих преобразований.

Естественно, что доказать универсальность принципа относительности нельзя. Это можно только постулировать.

Если некоторая область явлений описывается системой дифференциальных уравнений, то этой системе дифференциальных уравнений соответствует группа преобразований, которая не меняет форму этих уравнений. Изучением таких групповых преобразований занимается математическая теория групп Ли. Уравнениям электродинамики соответствует группа, положенная в основу псевдоевклидовой геометрии. В этом плане в начале 20-го века, формально говоря, не было оснований эти групповые свойства распространить на все физические явления. Последующее развитие науки дает основания для такого обобщения.

С другой стороны, в ЭйнСТО постулат относительности и II-постулат совместно не позволяют корректно вывести ПрЛ и инвариантность интервала, что возможно в ЭфСТО. В этом плане постулаты ЭйнСТО в совокупности «слабее» постулатов ЭфСТО.

В ЭйнСТО принцип относительности связывают с отрицанием абсолютного пространства, что на уровне интуиции противоречит независимости скорости света от движения источника, что можно осмыслить только в рамках существования чего-то абсолютного. Трактовка в ЭйнСТО принципа относительности как равноправия всех ИСО приводит к заблуждениям. В действительности ИСО вследствие наличия в каждой из них собственных масштабов лишь кинематически подобны. На этом акцентировал внимание А.А. Тяпкин.

МинСТО постулируется геометрия пространства-времени как универсальная для всех процессов, из чего следует принцип относительности ЭйнСТО и даже более широкий принцип относительности для неинерциальных систем отсчета (во всяком случае, по А.А. Логунову).

Кроме того, и это наиболее важно, в МинСТО определены требования к преобразованиям физических величин, что расширяет область действия теории на динамические явления. А из принципа относительности ЭйнСТО и постулатов ЭфСТО нельзя дедуктивно сделать вывод о том, каковы должны быть преобразования для физических величин (сила, напряженности полей и др.), чтобы обеспечивалась форминвариантность законов природы, не сводящихся к событийной кинематике, в рамках которой получены ПрЛ. При этом вопрос о том, как изменяются размеры тела при активном преобразовании (изменении скорости или положения тела) в МинСТО фактически не рассматривается (см. ниже).

Активное преобразование размеров тел. Особую роль сокращению размеров тел как реального физического эффекта придавали Лоренц и Пуанкаре. А. Пуанкаре в геттингенской лекции (1909г) объяснял, что "необходимо далее сделать третью гипотезу, еще более поразительную и трудно допустимую" о том, что «все тела во время движения изменяют свою форму, сжимаясь в направлении движения».

На наш взгляд, этому высказыванию Пуанкаре не надо приписывать, как это делает А.А. Тяпкин, ни «несколько непоследовательное изложение», ни «следование историческим фактам» [17]. Этим А. Пуанкаре заявил о важной и самостоятельной роли этого эффекта.

Важное высказывание В. Паули приведено на этот счет в конце подраздела 1.6.3.

В ЭфСТО сокращение размеров тел в направлении их движения постулируется и считается реальным физическим эффектом.

Когда при изложении ЭйнСТО различают активные и пассивные преобразования, то их объявляют адекватными, ссылаясь на принцип относительности, с чем можно согласиться. В этом плане принцип относительности ЭйнСТО содержит в себе принцип кинематической относительности ЭфСТО. Однако акцент на активных и пассивных преобразованиях размеров тела в литераторе по СТО, как правило, не делают, что порождает вопросы о «реальности» сокращения длины тела в направлении движения.

По мнению автора, в МинСТО на этот счет нет ясности.

Так, по А.А. Логунову «сокращение длины есть не что иное, как следствие геометрии пространства-времени и *способа измерения длины движущегося отрезка.* Следует отметить, что это сокращение в отличие от обычно принятой точки зрения не является сокращением Лоренца-Фицджеральда» [2, с.51], так как «в отношении стержня причинная связь отсутствует».

Речь, похоже, идет о пассивном преобразовании. При этом приводится рассуждение, уводящее мысль в другом направлении. С одной стороны, упоминание «способа измерений» порождает мысль о том, что это иллюзорный эффект. Во-вторых, предполагая, как в задаче Белла, что ускорение всех точек стержня выполняется по единой с позиции исходной ИСО программе, делается правильный вывод, что «в системе отсчета, связанной со стержнем, его длина будет увеличиваться» [3, с. 57]. Но эти рассуждения, верные сами по себе, уводят мысль от того обстоятельства, что такой режим ускорения стержня есть принудительное его растяжение, а не естественное поведение, которое должно определяться геометрией. И не ставится вопрос о том, каковы на этот счет требования геометрии.

Ни сокращение Фицджеральда-Лоренца, ни тезис Эйнштейна не являются прямым следствием инвариантности интервала (см. раздел 1.6). Они также не являются следствием ни уравнений Максвелла-Лоренца, ни уравнений динамики материальной точки, так как эти теории оперирует только с событиями. Поэтому в МинСТО, где 4-геометрия обосновывается на базе этих уравнений, вопрос об активном преобразовании размеров тел в виде тезиса Эйнштейна необходимо включить в число постулатов МинСТО.

Постоянство скорости света. В ЭфСТО постоянство скорости света оказывается физическим законом, который является следствием трех постулатов ЭфСТО. Второй и третий постулаты определяют поведение масштабов при переносе эталонов часов и длины из одной ИСО в другую. Из этих постулатов в рамках постулата о распространении света в эфире следует тезис Эйнштейна, который также отражает смысл постоянства скорости света. Адекватность ИПЭ процедуре синхронизации часов путем их медленного переноса дает обоснование самой этой процедуре и физической сути постоянства скорости света.

В ЭйнСТО постоянство скорости света постулировано как физический закон, что трудно воспринять, так как исходные положения ЭйнСТО не дают представления о поведении масштабов при активных преобразованиях.

Парадоксальность СТО в отношении постоянства скорости света и принципа относительности обычно видят в том, что, одной стороны скорость света постулируется не зависящей от скорости источника, а, с другой стороны, равноправие ИСО приводит к тому, что в каждой конкретной ИСО она оказывается привязанной к самому источник, неподвижному в этой ИСО.

В МинСТО в галилеевых координатах постоянство скорости света следует из инвариантности интервала при J=0. Однако МинСТО не проясняет, как сказано выше, вопрос о вещественном эталоне длины (бруске) и, тем самым, о физическом смысле различения физических и координатных скоростей. Тем самым, МинСТО порождает «смуту», связанную с формальной возможностью использования координатных скоростей, которые не являются физическими (см. ниже).

О геометрии пространства-времени. Когда в рамках прежних представлений о пространстве и времени обнаруживаются ранее неизвестные универсальные эффекты (силы/взаимодействия), то для согласования с опытом можно либо (а) ввести их во все уравнения движения, либо (б) найти ту метрику пространства-времени, при которой эти силы и взаимодействия как бы исчезают.

ЭйнСТО рассматривает геометрию пространства-времени как математический аппарат, являющийся обобщением конструкции на базе своих постулатов, что ввиду некорректности вывода инвариантности интервала в ЭйнСТО, по существу, некорректно.

Эйнштейн долго недооценивал сам факт инвариантности интервала даже после работ Минковского. Пуанкаре существенно приблизился к проблеме геометризации пространства-времени, но решающего шага не сделал.

В МинСТО геометрия пространства-времени постулирована. Но в условиях однородности и изотропности пространства *идеально упругие тела* должны определять свойства эталонов времени и длины, которые реально поддерживают эту геометрию. А это означает, что *собственные размеры тела* должны оставаться неизменными при поворотах и переносе из одной ИСО в другую. Если это не требовать, то относительность в МинСТО имела бы силу лишь как событийная относительность для кинематических и динамических процессов, а ее выполнение для явлений с телами не было бы гарантировано. Можно, конечно, сказать, что коль скоро постулирована геометрия, то в *МинСТО должна быть обеспечена инвариантность собственных размеров тел*. Но это надо специально отметить как свойство, которое из инвариантности интервала не следует.

В ЭфСТО постулаты явно описывают такие универсальные эффекты, которые определяют свойства эталонов длины и времени, в том числе при их переносе из одной ИСО в другую. МинСТО можно рассматривать как индуктивное расширение ЭфСТО.

Время и пространство сами по себе не фикции. Если в теорию вводится измерительно-вычислительная процедура для некоторых величин, которые не могут быть измерены непосредственно, то эффекты, связанные с такими величинами, могут быть иллюзорными, если они не адекватны физическим законам.

Так, в ЭфСТО сокращение длины движущегося стержня, основанное на измерении его длины по одновременным с позиции наблюдателя засечкам его концов, будет иллюзией, если не имеет силу третий постулат (и это несмотря на справедливость при этом ПрЛ и инвариантности интервала).

Аналогично в МинСТО утверждение о том, что длина зависит от способа ее измерения для движущегося отрезка, априори не исключает неадекватность пассивного и активного преобразований, т.е. иллюзорности измеряемой длины.

При введении в ЭфСТО третьего постулата ИПЭ окончательно теряет следы согласительного характера, а становится адекватной физической реальности: расстояния в любой ИСО можно измерять непосредственно с помощью одного и того же вещественного эталонного бруска, а не только с помощью формул, применяемых к данным локации.

ЭйнСТО, постулируя постоянство скорости света во всех направлениях, также исходно, хоть и неявно, оперирует понятиями физического времени и физической скорости. Так и должно быть: исходные положения теории должны быть выражены через физические понятия.

С этих позиций в МинСТО *процедура синхронизации часов Рейхенбаха не является физичной.* Ведь она основана на присвоении моменту времени события значения в виде такой комбинации пространственной и временной координат, которая не адекватна физической сути эталонов длины и времени и основанной на них геометризации пространства-времени. Сетки обобщенных координат, требующие применения формул Рейхенбаха (при $\varepsilon_t \neq 1/2$), не могут быть технически реализованы как конструкция из эталонных часов и брусков без определений промежутков времени и длины с помощью искусственных формул.

Опыт, не опирающийся на использование формул синхронизации Эйнштейна или Рейхенбаха, а опирающийся на синхронизацию часов путем их медленного переноса подтвердит изотропность скорости света (и, тем самым, ИПЭ), но никаким опытом на базе реальных физических процессов нельзя подтвердить анизотропию скорости света. В этом плане МинСТО породило математически непротиворечивую «химеру», в реальности не реализуемую. Координатные время и координатные скорости понятия того же порядка, что «копать от забора до обеда». Они представляют собой иллюзорную составляющую мира Минковского. Всякое математическое обобщение включает в себя новые элементы, которые не обязательно должны соответствовать реальности.

Таким образом, в МинСТО, исходя из заявления Г. Минковского о том, что «пространство само по себе и время само по себе должны превратиться в фикцию», преувеличено представление о равноправии временной и пространственных координат. В результате создалось ощущение возможности свободного выбора координатных величин, при которых метрика сохраняется псевдоевклидовой. Это дало возможность определять обобщенные координаты путем смеси значений галилеевых времени и расстояния. При этом мы оказываемся в ситуации, когда «*синхронизация часов в разных пространственных точках формально должна осуществляться с помощью координатной скорости. В литературе (особенно философской) этот вопрос часто обсуждается. С нашей точки зрения, этот подход не имеет физического смысла, поскольку он оперирует не с физическими, а с координатными величинами*» [3, с.147].

По мнению автора, при изложении постулата МинСТО о псевдоевклидовом пространстве-времени изначально надо акцентировать внимание не на ограниченность синхронизации методом Эйнштейна, а на том, что

> *физическое пространство и время абсолютны (существуют сами по себе), но в движущихся системах темпы хода процессов и размеры тел изменяются так, что в каждой ИСО мы имеем дело с ее собственным (относительным) пространством-временем, которое физически также расщеплено на пространство и время.*

Математически это означает, что физический смысл в этом пространстве имеют только метрики вида:

$J=c^2dt^2-\Sigma\chi_{ik}dx^i dx^j$, где i,k=1,2,3, причем $\det(\chi_{ik})>0$,

где $dl^2=\Sigma\chi_{ik}dx^i dx^j$ – это квадрат расстояния между событиями в евклидовом пространстве, который должен быть инвариантом преобразования пространственных координат (при использовании стандартных эталонов). Пространство и время образуют соединение, устанавливающее устанавливает взаимосвязь между разными ИСО, так как в каждой ИСО меры времени и длины свои. При этом физически допустимые преобразования координат должны сохранять указанную расщепленную форму метрики.

Эйнштейн настаивал на том, что СТО оперирует метрикой, в которой время и пространственные координаты отделены друг от друга. В этом плане, если исходить из физической сути метрики, представляется несправедливым упрек А.А. Логунова в адрес Эйнштейна на основе того, что для псевдоевклидового пространства допустима неортогональная форма метрики [3, с. 50].

Инерциальные и неинерциальные системы отсчета. Как ЭйнСТО, так и ЭфСТО, опираются на «часы, не зависящие от ускорения». В этих подходах, однако, вопрос о применимости теории к неинерциальным системам не рассматривается.

С позиции А.А. Логунова МинСТО позволяет в рамках псевдоевклидовой метрики рассматривать неинерциальные системы координат, что позволяет Логунову сформулировать *обобщенный принцип относительности* для неинерциальных систем отсчета. Это также предполагает независимость от ускорения не только темпа хода процессов, но и размеров тел.

Геометрия, вообще говоря, может быть адекватна явлениям одного класса и неадекватна другим. И действительно, общая теория относительности (ОТО) отказывается от плоского мира псевдоевклидовой геометрии, а релятивистская теория гравитации А.А. Логунова (РТГ) на этот мир опирается. «Истина - дочь времени, а не Авторитета» (*Ф. Бекон*).

Эфир и ЭМ-поле. Представление автора об эфире в основном совпадают с позицией А. Эйнштейна, изложенной в работе 1920г «Эфир и теория относительности». ЭМ-поле считается самостоятельной реальностью. При этом, опираясь на представления о том, что уравнения в потенциалах отражают пространственное движение поля (см. раздел 3.2), элементарным объемам ЭМ-поля можно приписать свойства перемещения в абсолютном пространстве (а иначе где?). Но ЭМ-поле фактически наблюдается как силовое поле, с которым уже нельзя связать механическое движение. В этом плане можно условно рассматривать напряженности **E** и **H** как состояния эфирной субстанции, а *световой сигнал как перемещение в эфире выделенного возбужденного элемента силового поля* (см. подробнее подраздел 3.2.3).

3. Эфирный подход и методология СТО

Из изложенного выше ясно, что «в каждом домике свои гномики». Считается, что у эфирного подхода два недостатка:

- ЭфСТО постулирует частные эффекты, а не «принципы», которые предпочитает современная теоретическая физика;
- ситуации, при которой, опираясь на существование эфира, доказывается невозможность обнаружить *равномерное* движение в эфире, парадоксальна.

Да, это так. Однако «нет худа без добра». «Содержание теории выражается в ее утверждениях и результатах, а не в предоставлении свойств и принципов» [23, с.20]. ЭфСТО имеет ясную онтологическую основу, и его постулаты обладают наглядностью и подтверждаются прямыми экспериментами. Постоянство скорости света во всех ИСО, а также другие релятивистские эффекты приобретают ясное физическое содержание.

Это не снижает роли принципов, в частности, принципа относительности. ЭфСТО проясняет специфику: относительность выступает как проявление кинематического подобия ИСО, а не их тождественности. И он должен включаться в методологию СТО, базирующуюся на эфирном подходе как обобщение принципа кинематической относительности.

Невозможность обнаружить движение относительно эфира не отрицает само его существование, так как оно проявляется косвенно (ограниченность максимальной скорости передачи взаимодействий, независимость скорости света от движения источника, сокращение времени движущихся часов по отношению к неподвижным часам, зависимость инертной массы от скорости, анизотропия солнечных пятен и вспышек и др.).

В других физических теориях также возникает необходимость наделять пространство свойствами гипотетической среды (поляризации вакуума, например).

ЭфСТО демонстрирует диалектику того, как '*абсолютное*' (пространство, время и движение «сами по себе») является нам в ипостаси '*относительного*' (пространство-время «для другого движущегося»). При этом пространство – это не геометрия «сама по себе», а носитель субстанциональности.

Современный взгляд на теорию относительности базируется на концепции псевдоевклидового пространства-времени. Обычно методология преподавания СТО (для физиков в том числе) строится на базе ЭйнСТО, которая объявляет МинСТО своим математическим инструментом. Однако этот путь, как было показано, труден для понимания, неоднозначен и математически нестрог. С другой стороны, МинСТО – элитная теория, плохо приспособленная «для миллионов» и для начального введения в теорию с иллюстрацией ее экспериментальных основ.

Строго доказанная в ЭфСТО инвариантность интервала и инвариантность собственной длины эталона дает основание в свете реальных опытных данных индуктивно перейти от кинематической относительности к универсальной и к псевдоевклидовой геометрии пространства-времени. Поэтому ЭфСТО может служить в качестве методологически ясного введения (предпосылки, эвристического приема) в МинСТО. При этом

> ЭФСТО - это модель кинематической относительности и теории эталонов длины и времени, их взаимосвязи с измерениями координат событий и длин, а также их соединения в единое целое, определяемого инвариантностью пространственно-временного интервала.

Таким образом,

$$\text{СТО} = \text{ЭфСТО} + \text{МинСТО}.$$

При этом постулаты ЭйнСТО не должны восприниматься как исходные положения теории, но являются ее важными принципами.

Для такого подхода, конечно, имеется психологический барьер. Ортодоксы от ЭйнСТО не могут допустить, что теория может опираться на понятие об эфире, движение относительно которого нельзя измерить. Воинствующие сторонники эфира, наоборот, рассматривают его как орудие для отрицания принципов СТО. Но вспомним, что Эйнштейн, которому вопрос об эфире не был безразличен, согласился с совместимостью эфира и СТО.

ЭфСТО более демократична, чем ЭйнСТО, так как не скована силой своих постулатов высокого уровня абстракции. Поэтому она, в принципе, не отвергая СТО на корню, не запрещает поиск объяснения опытов, в которых обнаружена анизотропия скорости света, например, частичным нарушением третьего постулата. «Из всех гипотез выбирайте ту, которая не пресекает дальнейшего мышления об исследуемых вещах» (Дж. К. Максвелл).

Автор надеется, что как сторонники, так и противники СТО согласятся, что подход СТО=ЭфСТО+МинСТО - это путь понять СТО, не отвергая «обыденный здравый смысл». Столетняя война воинствующих сторонников эфира и ортодоксальных релятивистов могла бы закончиться перемирием.

Список литературы

1. Эйнштейн А. Теория относительности. Избранные работы. – Ижевск: R&C Dinamics, 2000.
2. Логунов А.А. Лекции по теории относительности и гравитации. –М.: Наука, 2005 (МГУ, Классический университетский учебник).
3. Логунов А.А. Лекции по теории относительности. –М.: Наука, 2002.
4. Паули В. Теория относительности. -М.: Наука, 1991.
5. Матвеев А. Н. Механика и теория относительности. -М.: Высшая школа, 1986.
6. Ландау Л.Д, Лившиц Е.М. Механика. Электродинамика. –М: Наука, 1969.
7. Угаров В.А. Специальная теория относительности.-М: URSS, 2005.
8. БЭС «Физика» - М.: Научное издательство «Большая Российская энциклопедия», 1998.
9. Мардер Л. Парадокс часов. - М.: Мир, 1972.
10. Уиттекер Э. История теории эфира и электричества. – Классические теории. -М.: Ижевск, R&C Dinamics, 2001.
11. Уиттекер Э. История теории эфира и электричества. – Современные теории.-М.:Ижевск, R&C Dinamics, 2004.
12. Эфирный ветер. Под редакцией Ацюковского В. А. - М.: Энергоатомиздат, 1993.
13. Ацюковский В.А. В. А. Критический анализ основ теории относительности. - г. Жуковский: «Петит», 1996.
14. Г.Б. Малыкин. О возможности экспериментальной проверки второго постулата СТО. УФН, том 174, 7 (2004) http://ivanik3.narod.ru/TO/r047h.pdf
15. Бергман П.Г. Введение в теорию относительности. -М.: Ижевск, R&C Dinamics, 2004.
16. Заказчиков А.И. Возвращение эфира., -М.: «Компания спутник», 2001.

17. Тяпкин А.А. Об истории возникновения «теории относительности» Специальные Исследования Пространства. Вып3. - М.: Белка, 1996 (Дубна, ОИЯИ, 2004).
18. Тяпкин А.А. Выражение общих свойств физических процессов в пространственно-временной метрике специальной теории относительности. УФН.-1972-Т6. Вып4.
19. Сацунский И.С. Экспериментальные корни специальной теории относительности. -М.: URSS, 2003.
20. Гелаев Ю.М. Эфирный ветер. Эксперимент в диапазоне радиоволн. - г. Жуковский: ЗАО «Петит», 2000.
21. Маринов С. Экспериментальные нарушения принципов относительности, эквивалентности и сохранения энергии. - Институт Фундаментальной Физики, Австрия: Физическая мысль России 1-1995.
http://www2.antidogma.ru-a.googlepages.com/Marinov4.pdf
22. Артеха С.Н. Критика основ относительности. -М.: URSS, 2004.
23. Савчук В.А. От теории относительности к классической механике. - «Феникс». Дубна, 2001.
24. У.И.Франкфурт, А.М.Френк. Оптика движущихся тел. -М. Наука, 1972.
25. R.Cahill. A New Light-Speed Anisotropy Experiment: Absolute Motion and Gravitational Waves Detected». Перевод статьи: http://redshift0.narod.ru/Rus/Stationary/References/Cahill_Absolute_2006_1.htm
26. А.М. Чепик. Абсолют. Основные принципы. - "Актуальные проблемы статистической радиофизики", 2007, т.6. http://redshift0.narod.ru/Rus/Stationary/Absolute/Absolute_Principles_3_3.htm
27. Левин М.А. Специальная теория относительности. Эфирный подход. – М.: URSS, 2005.

Марк Абрамович ЛЕВИН (род. в 1938 г.)

Окончил Московский авиационный институт (1963), механико-математический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова (1966). Кандидат технических наук (1971). С 1973 г. занимается разработкой автоматизированных систем для гражданской авиации.

О содержании книги:

- Предложен эфирный подход (ЭфСТО). Он основан на трех постулатах, совместимых с данными экспериментов. Следствиями постулатов являются преобразования Лоренца, принцип кинематической относительности, закон постоянства скорости света и инвариантность интервала.
- Обсуждены трудности понимания подхода к СТО на базе постулатов Эйнштейна (ЭйнСТО). Показано, что вывод преобразований Лоренца на основе этих постулатов некорректен.
- Обсужден подход к СТО, основанный на постулировании мира Минковского (МинСТО). Рассмотрены проблема активного преобразования длины стержня, проблема физических и координатных величин и «физической» метрики пространства-времени.
- Предложено методологически строить СТО как объединение ЭфСТО и МинСТО, в котором ЭфСТО играет роль предпосылки, объясняющей физическую природу относительности и свойства эталонов длины и времени.

6873 ID 91674

9 785397 005036

НАУЧНАЯ И У...

Тел./фа...

Тел./фа...

E-mail:
URSS@URSS.ru

Каталог изданий
в Интернете:
http://URSS.ru

Любые отзывы о настоящем издании, а также обнаруженные опечатки присылайте по адресу URSS@URSS.ru. Ваши замечания и предложения будут учтены и отражены на web-странице этой книги в нашем интернет-магазине http://URSS.ru