

Физическая сущность СТО без парадоксов

А.К. Юхимец, anatoly.yuhimec@gmail.com

Содержание

Введение - 1

1. Измерение скорости света в движущейся ИСО - 16
 2. Реальные изменения тел при их абсолютном движении - 20
 3. Построение инерциальных систем отсчёта (ИСО) - 21
 4. Вывод преобразований Лоренца (ПЛ) - 24
 5. Как бы мы выполняли измерения в абсолютной системе отсчёта (АСО) - 31
 6. Движущаяся ИСО и её пространство-время (П-В) - 36
 7. Как принцип относительности (ПО) проявляется в движущейся ИСО – 40
 8. «Парадокс с часами» в СТО и его разрешение -.44
 9. Измерение массы движущихся тел из ИСО - 50
 10. Преобразование сил - 59
 11. Измерение и преобразование электромагнитных полей - 67
 12. Излучение и поглощение фотонов неподвижным в АСО атомом - 76
 13. Излучение атомом при движении, замедление хода часов в движущейся ИСО и эффект Доплера - 81
 14. Изменение эталона длины в движущейся ИСО и сокращение тел при движении - 91
- Заключение -.93
- Ссылки - 95

Введение

Как хорошо известно, построением теории, которая после работ Альберта Эйнштейна стала называться *специальной теорией относительности* (СТО), ещё задолго до него занимался голландский физик-теоретик Г.А. Лоренц, а также француз А. Пуанкаре. Они

считали, что теория должна строиться на основе представлений об абсолютно неподвижном пространстве Ньютона и об абсолютно текущем времени. Но так как уже после создания оптики, а потом и электродинамики физики пришли к необходимости «заполнить» *пустое* пространство Ньютона некоторым *материальным* эфиром, то в нём и следовало рассматривать протекание всех физических явлений.

Чтобы согласовать разрабатываемую теорию с результатами известных к тому времени экспериментов, Лоренц пришёл к выводу, что весь эфир *в целом* следует считать неподвижным, а скорость распространения света *от точки излучения*, равно как и других волновых электромагнитных процессов в нём, *постоянной* и не зависящей от скорости движения их источника. Этот вывод Лоренца о *неподвижности* эфира *в целом* казался слишком противоречивым и маловероятным. Эфир должен был, с одной стороны, *как бы* обладать колоссальной упругостью и, в то же время, не оказывать никакого сопротивления движению тел в нём. К тому же Лоренцу пришлось сделать ещё и допущение о *сокращении* длины тел и о *замедлении* хода часов при их собственном (*абсолютном*) движении в эфире. Это позволило распространить известный в механике *принцип относительности* (ПО) инерциального движения, установленный ещё в своё время Г. Галилеем для механических явлений, и на все оптические и другие электромагнитные явления.

Расширенный ПО, *по сути*, гласил о том, что физические явления *по отношению* к движущейся в эфире с собственной скоростью $v < c$ *инерциальной системе отсчёта* (ИСО) *проявляются* точно так же, как если бы она находилась в покое относительно эфира в целом, т.е. была бы *абсолютной* СО (АСО). Но для этого пришлось ввести ещё одно новшество. В движущейся *системе отсчёта* (СО) нужно было *согласовать* показания применяемых в ней разноместных часов по всему её координатному пространству с помощью световых сигналов, учитывая время их распространения от точки к точке. Вот *только после этого* она и становилась ИСО.

И хотя было известно заранее, что скорость света не постоянна по отношению к *системе координат* (СК) движущейся ИСО, сверяя показания разноместных часов в ней, эту скорость пришлось принять равной величине абсолютной скорости света c , т.е. как и в некоторой

неподвижной в эфире *абсолютной системы отсчёта* (АСО), которую можно было представить себе лишь *мысленно* (чисто *теоретически*). Именно это, вместе с тем, что было принято ранее (сокращение тел и замедление хода часов), и позволило сохранить ПО.

Систему согласованных между собой разноместных часов в движущихся ИСО, позволяющую выполнять *регистрации их показаний* во всех точках системы отсчёта, Лоренц назвал «местным временем», т.е. *условным*, в отличие от *реального* абсолютно текущего времени *теоретической* АСО. Последнюю Лоренц называл просто *покоящейся* СО, но мы будем называть её и дальше АСО.

Что это было действительно так, видно из следующих слов французского учёного А. Пуанкаре. В своём докладе «Настоящее и будущее математической физики» в Сент-Луисе в 1904г. он так пересказывает рассуждения Лоренца: «Представим себе двух наблюдателей, которые хотят выверить свои часы с помощью оптических сигналов. Они обмениваются сигналами, но, так как им известно, что распространение света не мгновенно, они посылают их перекрестно. Когда в пункт В приходит сигнал из пункта А, то находящиеся в нём часы должны показывать не то время, которое показывали часы пункта А в момент отправления сигнала, а время, увеличенное на постоянную, равную длительности передачи.... После этого часы отрегулированы. И действительно, они показывают одинаковое время в один и тот же физический момент, но при одном условии, что оба пункта - неподвижны. В противном случае длительность передачи будет не одной и той же в двух направлениях. ... Часы, отрегулированные таким образом, не будут показывать *истинное время*. Они показывают так называемое *местное время*. Одни из них отстают. Это не имеет большого значения, поскольку у нас нет средств заметить это. ... Таким образом, как этого требует принцип относительности, у наблюдателя не будет никакой возможности узнать, находится ли он в покое или в абсолютном движении. ...

Итак, в последнее время принцип относительности мужественно отстаивали.» [1. с. 565-567].

Ещё раз *подчеркну*, что ПО, *по сути*, гласил о том, что физические явления по отношению к движущейся с постоянной скоростью ИСО *проявляются* точно так же, как если бы она находилась в абсолютном

покое относительно эфира, т.е. была бы АСО. Но Лоренц и Пуанкаре именно здесь в отношении ПО допускают, казалось бы незначительную, но чрезвычайно важную ошибку. Они не дают ему приведенную ещё раз только что выше *принципиально правильную* его формулировку, а выдают за сам ПО вытекающее из него *следствие*. Постоянно помня об отрицательном результате опытов американца А. Майкельсона по выявлению абсолютной скорости движения Земли вокруг Солнца, они формулируют ПО всего лишь как *принципиальную невозможность* никакими лабораторными экспериментами выявить такое абсолютное движение.

Лоренц также *путём подбора* нашёл и определённую форму преобразований пространственных и временных координат различных *точечных событий* от АСО к движущейся ИСО. Эти преобразования позволяли сохранить одну и ту же *форму физических законов*, как по отношению к АСО, так и по отношению к абсолютно движущейся ИСО. Пуанкаре и дал им название *преобразований Лоренца* (ПЛ).

Лоренц, конечно, понимал некоторую искусственность построения своей теории на то время. Однако он надеялся, что в будущем удастся все принятые допущения, уже *косвенно* опирающиеся на известные факты, как-то обосновать и более строго. И то, что теория хорошо согласовывалась с экспериментом, вселяло надежду, что это рано или поздно удастся сделать.

Но тут в 1905 г., неожиданно для всех, появляется статья практически никому неизвестного в то время Альберта Эйнштейна «К электродинамике движущихся тел». В ней впервые даётся систематическое и практически полное изложение теории, названной позже СТО. Далее все ссылки на А. Эйнштейна будут даны по его «Собранию научных трудов» (СНТ) в 4-х томах [2].

Построение любой научной теории опирается, прежде всего, на хорошо установленные опытные факты. И, тем не менее, в теории кое-что всё же приходится *предположить* (т.е. *постулировать*). Это нечто, тоже связанное с нашим опытом, но всё же в определённой мере и несколько *домысленное* нами как не имеющее строгого и однозначного доказательства. Но постулаты в теории - это те, хотя и не доказанные строго, но крайне необходимые звенья, без которых полноценную теорию построить никак нельзя [3].

Со временем принятые постулаты могут быть строго доказаны или опытным путём, или теоретически; и стать уже полноценными фактами, что ещё более укрепит теорию. Но если какой-либо постулат не оправдывается, то уже теорию следует пересмотреть. Желательно всё же, чтобы таких *предположений* в теории было как можно меньше. А так как ещё и сегодня академическая наука внушает всем, что эйнштейновская *трактовка* СТО построена на *принятии всего лишь двух постулатов* (и это ставится ей в заслугу), то будем по ходу изложения отмечать, что на самом деле это далеко не так [4, 4.1].

Само построение СТО у Эйнштейна несколько неожиданно. Оно начинается с устранения из теории абсолютного пространства, вместе с как бы заполняющим его эфиром, и абсолютно текущего времени, что уже на то время *считалось основой физики*. *Принимается*, что все тела, а также электромагнитные поля существуют на равных в *полной пустоте*. Пустота безгранична, нейтральна и все движения в ней носят лишь *относительный* характер. На базе любого твёрдого тела, если оно *движется* без ускорения (т.е. по инерции) можно построить ИСО, пригодную для изучения различных физических явлений, кроме гравитации, которая пока просто исключена из рассмотрения.

Уже здесь мы должны отметить появление *первого (1) постулата*, что *реальное мировое пространство является пустотой*. Отсюда *собственное* движение любых физических объектов в реальном мировом пространстве *утрачивает всякий смысл*, и все их движения *объявляются* лишь *относительными* (по отношению друг к другу). И это уже *второй (2)* вводимый в теорию *постулат*. С другой стороны, любая ИСО в теории строится на базе тела, движущегося *без ускорения*. Но так это же и есть характеристика *собственного* движения тела. И тут налицо уже *логическое противоречие* в теории.

Любая ИСО включает в себя жёсткую пространственную СК, размеченную с помощью общепринятого эталона длины, а также физическую систему *измерения* времени, как считал Эйнштейн. Последняя предполагает наличие в любой интересующей нас точке СК неподвижных и также общепринятых эталонных часов, показания которых сверены между собой тем же способом, что и у Лоренца, с помощью световых сигналов. Процедура сверки часов названа *«синхронизацией их хода»* и *считается*, что после этого все часы в

ИСО «идут в фазе» [2, т. 1, с. 149]. И хотя Эйнштейн ничего более к этому не добавляет, всё же *молчаливо предполагается*, что если бы мы могли окинуть все часы в системе «мгновенным взором», то *в любой момент* увидели бы на них *одинаковые* показания, что и даёт возможность в системе *измерять* время даже по показаниям разноместных часов. Однако *считать*, что все разноместные часы в ИСО *идут в фазе* – это очередной *постулат (3)*.

Если снова вспомнить такую же процедуру сверки часов у Лоренца, то там, как сказано у Пуанкаре, часы идут в фазе лишь в СО, покоящейся в эфире, т.е. лишь в АСО. А во всех движущихся ИСО они *вовсе не идут в фазе*. Как сказано у Пуанкаре, «одни из них отстают». Фраза не совсем удачна. Поэтому поясним, что речь в ней реально идёт о том, что *показания* разноместных часов *вовсе не синхронизированы*, а с помощью световых сигналов лишь определённым образом *упорядочены* (согласованы) между собой.

Показания разноместных часов *по ходу* абсолютного движения ИСО имеют некоторый *закономерный сдвиг* по отношению друг к другу. И этот сдвиг в показаниях разноместных часов зависит как от расстояния, разделяющего часы, так и от скорости *собственного* (абсолютного) движения ИСО [5]. Тем самым АСО чётко выделена из всех других возможных ИСО [6]. В ней все физические явления и существуют сами по себе и действительно могут *как бы* наблюдаться и измеряться в этом своём самостоятельном существовании с помощью общепринятых эталонов длины и времени. Это позволяет объективно описать *как бы наблюдаемые* явления математически.

Почему здесь сделана оговорка «как бы»? Это очень существенный момент, который требует дополнительных разъяснений.

Во-первых, ни в АСО, ни тем более в движущейся ИСО, мы не можем *реально наблюдать* протекающее явление *всё сразу*. Для этого мы должны были бы обладать возможностью *в любой момент* охватывать всё явление упомянутым выше «мгновенным взором», которого реально у нас нет. Вот поэтому нам и нужны в каждой точке СК часы, сверенные с помощью световых сигналов. Тогда реально мы сможем в любой системе *регистрировать* лишь определённые *точечные события*, характеризующие изучаемое явление в его

проявлении по отношению к данной системе. Затем по выполненным регистрациям лишь в *теоретически мыслимой* АСО мы могли бы сделать картинку явления в разные интересующие нас *моменты*, а уже по ним и сделать необходимые *измерения*.

Во-вторых, можно сказать, что, наблюдая по сделанным как бы мгновенным картинкам какие-либо явления из АСО, мы к самим явлениям ничего не «подмешиваем». А вот при аналогично выполненным «наблюдениях» явлений по регистрациям точечных событий из движущихся ИСО сказать этого уже нельзя. В ИСО уже нет *единых* временных показаний по её относительно пространству. Изменились не только её общепринятые эталоны длины и времени, но пространственные и временные координаты *из-за сдвига показаний часов* вдоль направления движения СК образуют теперь в ней некоторую неразделимую пространственно-временную конструкцию.

Это и есть то, что несколько позже было названо *пространство-время* (П-В). Теперь собственные пространственные и временные характеристики «наблюдаемого» физического явления неизбежно как бы «смешиваются» с пространственно-временными характеристиками самой конструкции ИСО (с её П-В), из которой они «наблюдаются и измеряются» [7]. Однако при этом, описывая «наблюдаемое» явление *математически*, мы получаем ту же *форму физических законов*, что и в теоретической АСО (т.е. *в соответствии с ПО*).

Что же касается подхода Эйнштейна, то у него все ИСО *мыслятся* (иначе *постулируются*) *совершенно одинаковыми* (*постулат 4*). Все они, по сути, *мыслятся* как АСО (имеют каждая *своё* однородное и изотропное пространство и *своё* единое время), но при этом якобы все вместе существуют и перемещаются в *пустом* мировом пространстве относительно друг друга на равных. Как подчеркнул он в одной из последующих своих работ, «две системы не могут отличаться одна от другой...нелепо отводить особую роль одной из систем, считая её неподвижной по отношению к эфиру» [2, т. 1, с. 145].

Этот *постулат* подкрепляется ещё и сделанным Эйнштейном примечанием: «В дальнейшем мы всегда будем неявно предполагать, что факт приведения в движение и остановки линейки, или часов, не изменяет ни длины линейки, ни хода часов» (там же, примечание 10, с.152). То есть это уже *очередной постулат (5)*, что *изменение собственного движения не изменяет* ни тела, ни ход часов.

«Итак, теория Лоренца, основанная на гипотезе эфира, не удовлетворяет принципу относительности», - делает заключение Эйнштейн. И несколько далее: «Таким образом, возникает вопрос: нельзя ли согласовать основные положения теории Лоренца с принципом относительности? Первым шагом к этому является отказ от гипотезы эфира...нельзя создать удовлетворительную теорию, не отказавшись от существования некоей среды, заполняющей пространство» (там же, с. 145-146).

То, что последний вывод Эйнштейна субъективный и совершенно неверный, мы увидим из дальнейшего изложения. Но почему он сделал своё заключение, что «теория Лоренца, основанная на гипотезе эфира, не удовлетворяет принципу относительности», остаётся загадкой. Именно этого Лоренц и добился в своей теории, на что и указал Пуанкаре (его слова приведены выше), хотя сам Лоренц этого так и *не осознал*, считая (?!), что у него ПО якобы не выполняется.

Итак, перенеся все физические явления в совершенно *пустое* пространство и полностью уравнив между собой все ИСО, Эйнштейн строит свою трактовку СТО, как всё ещё считается, исходя из следующих двух принципов. Один из них называется *принципом постоянства скорости света* (ППСС) (*6 постулат*), а второй - *принципом относительности* (ПО) (*7 постулат*). Вот как они сформулированы уже в первой его работе по СТО:

1. «Каждый луч света движется в «покоящейся» системе координат с определённой скоростью V , независимо от того, испускается ли этот луч света покоящимся или движущимся телом.

2. Законы, по которым изменяются состояния физических систем, не зависят от того, к которой из двух координатных систем, движущихся относительно друг друга равномерно и прямолинейно, эти изменения состояния относятся» [2, т. 1, с.10].

Эти *два принципа* имеют в других работах Эйнштейна и несколько иные формулировки. И если формулировка второго принципа достаточно понятна и не вызывает *пока* особых вопросов, то с первым не всё так чётко. Более того, он не имеет чёткой однозначной формулировки ни в одной из работ Эйнштейна. Мы не будем здесь останавливаться на этом вопросе более подробно, так как он уже рассмотрен автором в работе [8]. Но мы обязательно должны здесь

уточнить, что означает у Эйнштейна понятие «покоящаяся» система координат.

Так как у Эйнштейна никакой *действительно* покоящейся ИСО (как мыслимая АСО в теории Лоренца), с его точки зрения, быть не должно, то он вводит понятие *условно* покоящейся ИСО. Поэтому это слово и взято им в кавычки. И хотя без такой ИСО в трактовке теории обойтись невозможно, *что* нужно понимать под этим понятием, Эйнштейн не считает нужным объяснять специально.

Всё вроде бы и так понятно из контекста. Это та ИСО, в которой находятся сами наблюдатели со своими неподвижными приборами, неподвижными синхронизированными эталонными часами по всему «пространству отсчёта», неподвижными эталонами длины, с помощью которых размечены оси координат системы, с неподвижными пробными телами и т.д. Однако, если присмотреться к условно неподвижной ИСО повнимательнее с учётом того, что уже сказано выше, то легко увидеть, что такая ИСО *ничем не отличается* от мыслимой АСО в теории Лоренца. Судите сами.

Считается (т.е. *мыслится*), что в «покоящейся системе» Эйнштейна свет распространяется от точки своего зарождения с постоянной скоростью c во всех направлениях, независимо от движения его источника. Точка зарождения светового фронта при этом считается (т.е. опять же *мыслится*) остающейся на своём месте, а сам распространяющийся фронт мыслится сферическим (*постулат б*). То же самое мыслится и в АСО.

Так как скорость света в «покоящейся системе» во всех направлениях *считается* постоянной, то и *считается*, что все часы в ней после их *якобы синхронизации* реально «идут в фазе» (*постулат 3*), а следовательно, в СО *мыслится* и *единое* (т.е. *абсолютное*) время. То же самое мыслится и в АСО. Но если у Лоренца в АСО это всё мыслится на *объективной* основе и возможно лишь по отношению к неподвижному в целом эфиру, то у Эйнштейна всё это становится *сугубо условным* (т.е. *сугубо субъективно мыслимым*), так как, с его точки зрения никакого материального эфира нет (*постулат 1*), а все ИСО ничем не отличаются друг от друга (*постулат 4*).

Наблюдая из «покоящейся системы» Эйнштейна за движущейся относительно неё какой-либо ИСО, можно увидеть всё то же самое, что и при наблюдении из АСО в теории Лоренца. Это и разная

скорость света относительно СК движущейся ИСО, и сокращение размеров тел, и замедление хода эталонных часов в ней. Но если в теории Лоренца это всё носит *реальный* характер, то в теории Эйнштейна это должно восприниматься как некоторые «кинематические эффекты» (*постулат 5*). Но когда мы рассматриваем замкнутый цикл движения каких-либо эталонных часов относительно условно неподвижных, то «кинематический эффект» вдруг даёт *реальное* отставание двигавшихся часов. И это приводит к общеизвестному неразрешимому в рамках трактовки СТО Эйнштейном «парадоксу с часами». В теории Лоренца такого парадокса просто не существует, так как движущиеся часы отстают от неподвижных *реально*.

Из АСО в теории Лоренца можно также увидеть, что объективно одновременные события, происходящие в разных точках реального физического пространства (эфира), уже не будут *восприниматься* таковыми по отношению к движущейся ИСО. В ней мы уже не можем определить, какие же события действительно одновременны. Поэтому в движущейся ИСО есть только *условная* одновременность *регистрации* разноместных событий в её «местном времени». А так как это чрезвычайно важный момент в СТО, от которого зависит и вся её трактовка, то мы остановимся на нём несколько детальнее.

Показания часов в движущейся ИСО, расположенные по направлению её абсолютного движения, имеют определённый сдвиг по отношению друг к другу (помните у Пуанкаре : «одни из них отстают»). Поэтому, если в какой-либо точке 1 часы показывают, например нулевое время, то в какой-либо другой точке 2, находящейся впереди от точки 1 по ходу абсолютного движения ИСО, часы ещё не дошли до нулевого времени. Они отстают по своим показаниям от часов в точке 1 в зависимости от расстояния между точками и абсолютной скорости движения ИСО. И если в точке 1 в нулевой момент времени произойдёт некоторое событие, то «одновременным» с ним в точке 2 будет *считаться* то событие, которое произойдёт в ней лишь через некоторое время, когда и её часы будут показывать нулевое время. То есть указанные события в точках 1 и 2 в своём самостоятельном *существовании* объективно *не являются* одновременными. Но в самой ИСО они *условно считаются* таковыми, так как и в точке 1 и в точке 2 происходят *при одинаковых*

показаниях часов (в данном случае при нулевых). С другой стороны, действительно объективно одновременные события в точках 1 и 2 уже не будут считаться в ней одновременными (или восприниматься таковыми), так как из-за указанного выше сдвига в показаниях разноместных часов будут происходить в этих точках при разных показаниях часов в них.

А в теории Эйнштейна одновременность разноместных событий вообще *утрачивает* всякий *объективный* характер, так как о ней можно говорить лишь по отношению к той, или иной ИСО. Да и само понятие «время» в трактовке СТО Эйнштейном *утрачивает* свой объективный, независимый ни от каких СО смысл. Оно полностью зависит от ИСО. И, с одной стороны, как мы уже говорили выше, в условно неподвижной ИСО оно ничем не отличается от абсолютного времени в АСО в теории Лоренца. А, с другой стороны, наблюдая из *условно* неподвижной ИСО (назовём её К) за движущейся (к), мы видим, что *ход* её эталонных часов ещё не определяет «время», пригодное для *математического описания* явлений в этой системе к, так как здесь «временные промежутки» могут определяться и *через систему* физической регистрации показаний разноместных часов [9].

Ведь действительно, «время» в каждой ИСО у Эйнштейна определяется *совокупностью показаний* всех её неподвижных часов по всему её «пространству отсчёта». На это и сам он неоднократно *особо* обращает наше внимание. Но сказать при этом, что это относится только к движущейся системе к, мы не можем, так как у него все ИСО *полностью равнозначны*, а само их движение лишь сугубо относительное (*постулат 2*). И то, что понятие «время», а вместе с ним и понятие «одновременности» разноместных событий *не имеют объективно реального смысла* - это опять же следует признать очередным *постулатом (8)*.

Что же касается подхода Лоренца, то и тут у него всё обстоит благополучно. В неподвижной АСО время *едино* и его ход физически определяется ходом любых неподвижных эталонных часов (*реально идут в фазе*). Поэтому все сверенные с помощью световых сигналов часы по всему неподвижному в целом пространству в любой *момент* (т.е. *объективно одновременно*) должны показывать одно и то же *время именно как момент*. А «местное время» в реально движущейся

ИСО действительно *физически* составляет *совокупность показаний* всех её *условно* синхронизированных часов, т.е. *реально не имеющих единых показаний* по всей системе. Но только оно и пригодно для *математического описания* явлений по отношению к движущимся ИСО, чтобы *форма этого описания* была такой же, как и при описании в АСО (суть ПО). А нам именно это и нужно, так как это и будет та форма описания, которая и отвечает самостоятельному (т.е. *объективному*) существованию явлений.

В трактовке СТО Эйнштейном «кинематический эффект» (иначе, «релятивистский эффект») отставания *хода* движущихся эталонных часов от *условно* неподвижных часов обычно *называется* «замедлением хода времени» в движущейся ИСО. Но мы не вправе делать такое заключение, так как *ход часов* у Эйнштейна – это вовсе *не ход «времени»*. Дать *определение*, что есть именно *ход* (или *течение*) времени в трактовке СТО Эйнштейном, невозможно. Точно так же обстоит дело и с «местным временем» у Лоренца. Поэтому Лоренц и дал ему такое название в отличие от истинного (иначе, *объективно текущего*) времени АСО.

И, наконец, последнее. Связь пространственных и временных координат от условно движущейся ИСО к условно неподвижной у Эйнштейна выражается через те же преобразования, что и у Лоренца.

Выше мы уже упомянули о том, что в СТО явление гравитации временно было просто проигнорировано. Но после создания своей *трактовки* СТО Эйнштейн решил устранить и этот пробел. Так как в природе именно из-за гравитации реальных ИСО не существует в принципе, то эту *специальную* идеализацию он и пытался исключить. То есть нужен был несколько более *общий* подход к построению такой фундаментальной теории, какой оказалась уже созданная СТО.

Поэтому задуманное как бы расширение СТО и было названо Эйнштейном *общей теорией относительности* (ОТО). И разрабатываемая более общая теория была названа так вовсе не случайно, хотя её название впоследствии и стали считать не очень удачным. Раз никакого абсолютного движения, как считал Эйнштейн, в природе не существует, а его трактовка СТО и построена *именно на этом*, то и нужно всё и дальше строить, опираясь лишь на движение относительное.

Но, как мы теперь знаем, никакого *общего* принципа относительности у Эйнштейна не получилось. Разработка новой теории потребовала введения и новых принципов. Но мы не ставим своей целью рассматривать их в данной работе, а лишь напомним, что, в конечном счёте, пришлось всё же *вернуть в теорию* материальный эфир, так как природу обмануть нельзя. А раз он существует в природе, то должен быть и в СТО. Она хотя и является некоторой идеализацией реального существования вещей и явлений, но не настолько, чтобы оторвать их полностью от самой их *материальной основы*.

Нельзя в теории сводить всё к полной зависимости от систем отсчёта, как это и сделано в трактовке СТО Эйнштейном. Природу нельзя изучить, сводя всё лишь к абстрактным отражениям её явлений на те или иные *системы отсчёта* (СО). В конечном счёте мы должны перейти к явлениям в их самостоятельном обязательно *материальном* существовании. Конечно же, и Эйнштейн понимал это, а поэтому и написал в 1920 г. в своём ответе философу Рейхенбаху, что: «Система координат представляет собой всего лишь средство описания и сама по себе не имеет ничего общего с описываемыми предметами. Этой ситуации вполне соответствует только общековариантный способ формулирования законов природы, ибо при всяком другом способе высказывания о средствах описания смешиваются с высказываниями об описываемом предмете» [2, т. 1, с. 690].

Какой же вывод следует из уже здесь изложенного? По мнению автора, он уже очевиден. В трактовке СТО Эйнштейном его *условно покоящаяся* ИСО и есть ничто иное как *мыслимая АСО* в теории Лоренца. «Покоящаяся» ИСО всегда на основании ПО *условно подменяет собою АСО*. И выбрасывать эфир из теории, равно как и всё остальное, что с ним связано, было серьёзной ошибкой Эйнштейна. Почему он *не исправил* её после создания ОТО, остаётся загадкой. А то, что в своей *трактовке* СТО Эйнштейн отказался от *теоретически мыслимой АСО* и от рассмотрения явлений по отношению именно к ней как к *теоретически необходимой основе* самостоятельного существования явлений, и приводит к целому ряду нелогичностей и к парадоксам [10].

К сожалению, сам Лоренц в своё время почему-то не сумел провести последовательно сравнение своего и эйнштейновского

трактования теории, как это сделано в данной работе. Он лишь сделал замечание, что то, как трактовать данную теорию, есть «дело вкуса». И трактовка СТО Эйнштейном, несмотря на многочисленные дискуссии и попытки её опровержения, одержала верх и сохраняется в официальных научных кругах и в учебниках, а также справочниках по физике и по сей день.

Сегодня, чтобы, наконец, покончить с этим затянувшимся недоразумением в науке, чтобы вернуть СТО её материалистическую основу и тем самым раскрыть до конца все её истинные возможности, трактовку теории *следует изменить*. Для этого, прежде всего, следует просто осознать, что вопреки тому, *что и как считал Эйнштейн, уже существующая СТО фактически построена* на следующих постулатах:

1. Реальное физическое *пространство СТО материально*, в целом неподвижно, *однородно и изотропно*, а поэтому любые электромагнитные волновые процессы в нём распространяются от точки излучения во всех направлениях с постоянной скоростью, независимо от движения их источника. Это и есть ППСС.

2. По отношению к любой *реально* движущейся ИСО, построенной по определённым правилам, физические явления *через анализ регистраций точечных событий* в её «пространстве-времени» *проявляются* в той же форме, как и проявлялись бы по отношению к теоретически мыслимой АСО, неподвижной в реальном физическом пространстве. Это и есть ПО.

Кроме того, на основании анализа опытных данных по лабораторным измерениям скорости света, а также данных по работе ускорителей элементарных частиц известные «релятивистские эффекты» следует признать *реальными законами* изменения физических тел и циклических процессов, связанных с ними, при реальных изменениях *собственных* движений физических тел в реальном физическом пространстве.

В ортодоксальной трактовке СТО все её парадоксы начинаются с отрицания *материального* неподвижного *в целом* реального физического пространства, с отрицания *собственных* (и в этом смысле *абсолютных*) движений в нём и с постулирования принципиальной неразличимости всех ИСО. Совершенно не верно объяснять всё в теории так, что если мы находимся в ИСО₁, то в какой-либо другой,

движущейся относительно нас ИСО2, видим сокращение размеров тел вдоль движения с одновременным увеличением их массы и замедление хода её часов. А если находимся в ИСО2, то уже в ИСО1 видим всё то же самое, но уже по отношению к телам и часам в ИСО2. И тем самым сводить всё к проявляющимся при этом сугубо кинематическим эффектам, якобы связанным с необычными свойствами пространства и времени, а также распространения света. Такое «объяснение» принципиально неправильное *по существу*.

Как видно из сформулированного только что выше ПО, правильное объяснение должно быть следующим. И из ИСО1, и из ИСО2, делая всё в них как и в теоретически мыслимой АСО, мы на равных правах познаём то, как физические явления существуют и развиваются сами по себе в своём «самостоятельном существовании» в реальном физическом пространстве.

А поэтому и каждую движущуюся ИСО нужно тоже воспринимать как физическое явление. И если ИСО движется (абсолютно), то в ней *объективно реально* сокращаются размеры тел вдоль направления абсолютного движения, и замедляются циклические процессы, включая и ход эталонных часов, и изменяется масса тел, и многое другое. Всё это приобретает характер физических законов.

Идеализация, принятая в СТО, касается не только ИСО, но и того, что реальное физическое пространство в ней *считается однородным и изотропным*. Как теперь известно из ОТО, его можно считать с приемлемой точностью таковым только в областях с гравитационным потенциалом близким к нулю. Огромные космические массы изменяют указанные характеристики пространства, что изменяет и скорость света, а также приводит к целому ряду других физических эффектов. Но СТО как в определённой мере абстрактная теория должна быть построена именно на том, что её *реальное физическое пространство* считается *абсолютным*. То есть оно *условно* считается неподвижным, однородным и изотропным.

Итак, вместо субъективной «покоящейся системы» вводим АСО и с её помощью уже полностью *на объективной основе* строим теорию без каких-либо парадоксов и самым *наглядным* образом, начиная с рассмотрения распространения света.

1. Измерение скорости света в движущейся ИСО

Рассмотрим процесс измерения скорости света в движущейся ИСО, как бы наблюдая за этим из теоретически мыслимой АСО, неподвижной в реальном мировом пространстве. Кстати, сегодня считается принципиально возможным связать такую систему (АСО) со сферой неподвижных звёзд.

Вначале рассмотрим измерение скорости света вдоль направления движения ИСО. При этом вернёмся в XIX век и будем считать, как и считали тогда, что движение даже с довольно большой скоростью никак не влияет на нашу СО, ни на её СК, ни на ход её часов. И так как все реальные лабораторные установки построены на измерении скорости распространения света в *замкнутом* процессе, то и рассмотрим его движение от точки А до точки В и назад, рис. 1.1.

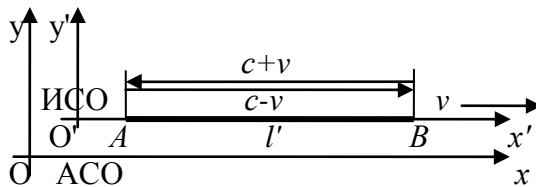


Рис. 1.1. Наблюдение из АСО за измерением скорости света в движущейся ИСО вдоль отрезка $AB = l'$, который находится на направлении скорости v .

Как мы можем предположить теоретически, реальная скорость света по отношению к движущейся СК будет разной в разных направлениях. В направлении от А к В она фактически (по измерению в АСО) будет $c-v$, так как со скоростью v движется сама ИСО и свет догоняет точку В, а в обратном направлении будет $c+v$, так как свет движется навстречу к точке А. Собственная скорость распространения света в АСО от точки излучения А, а потом и от точки отражения В равна c .

Реальное время (*длительность*) движения света, которое можно было бы измерить в АСО, в прямом направлении будет $\Delta t_1 = \frac{l'}{c-v}$. А реальное время его движения в обратном направлении будет $\Delta t_2 = \frac{l'}{c+v}$. Тогда общее время движения света составит

$$\Delta t = \frac{l'}{c-v} + \frac{l'}{c+v} = \frac{2l'}{c(1-v^2/c^2)}. \quad (1.1)$$

Возьмём точно такой же отрезок l' вдоль оси Y' и тоже определим время движения светового фронта в замкнутом цикле с точки зрения АСО, рис. 1.2. В самой ИСО свет излучается в точке O' и направляется к точке А (положение a). Но фактически к точке А свет движется со скоростью c по наклонной прямой (положение b). Поэтому его скорость движения вдоль оси Y' будет $\sqrt{c^2 - v^2}$. Отразившись в точке А, свет возвращается назад в точку O' также по наклонной прямой со скоростью c (положение $в$). А его скорость вдоль оси Y' снова будет $\sqrt{c^2 - v^2}$. Его общее время движения в замкнутом цикле составит

$$\Delta t = \frac{2l'}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{2l'}{c\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \quad (1.2)$$

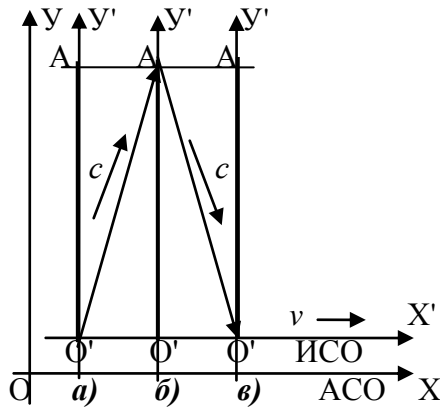


Рис. 1.2. Наблюдение из АСО за измерением скорости света в движущейся ИСО вдоль отрезка $O'A = l'$, который находится на оси Y' и направлен перпендикулярно скорости v .

Из (1.1) и (2.1) мы видим, что временные промежутки получаются разные. На этот факт указал в своё время Д.К. Максвелл и отметил, что при достаточной точности эксперимента он может быть использован для определения абсолютной скорости движения Земли в её движении по орбите вокруг Солнца, а может и в самом пространстве. Но только в 1881 г. американец А. Майкельсон смог реализовать эту идею. Однако проведенный эксперимент оказался для всех неожиданным. Скорость света и вдоль движения Земли и поперёк этого движения практически оказалась одинаковой. *Т.е. результат был таким, как если бы эксперимент проводился не в движущейся системе, а в мыслимой АСО.*

Открытый для механических явлений ПО неожиданно проявился и в экспериментах со светом, а значит, его можно было распространить

и на другие электромагнитные явления. Это открытие требовало и своего *объяснения*. И тогда Лоренц решил, что при движении в эфире за счёт взаимодействия с ним даже твёрдые тела, а значит, и СК из них, сокращают свои продольные размеры, причём так, что скорость света в замкнутом цикле его движения должна оставаться постоянной. Эту же идею высказал независимо от Лоренца и Г. Фицджеральд. И это *объясняло причину* результатов эксперимента Майкельсона.

Иногда даже в научной литературе пишут, что классическая физика *отрицала* изменение размеров твёрдых тел при движении. И это не совсем верно. Она всего лишь исходила из того, что при движении твёрдые тела лишь изменяют своё положение в пространстве. А так как эфир *считался* не просто невидимым, но и практически *бестелесным*, то и *не возникал вопрос* о его влиянии на размер тел при их движении. Но уже после создания электродинамики стало ясно, что здесь физики упускают нечто важное. Оказалось, что реальное мировое пространство заполнено электромагнитными полями и тела неизбежно как-то взаимодействуют с ними. Поэтому в предположении Лоренца о сокращении тел при движении не было чего-то совсем уж неожиданного.

Формулы (1.1) и (1.2) подсказывают и величину требуемого сокращения. Чтобы обе формулы давали одну и ту же величину скорости, нужно, чтобы размеры тел при движении сокращались в направлении движения в $\gamma = 1/\sqrt{1-v^2/c^2}$ раз. Тогда, если в АСО отрезок $AB=l$, то в ИСО при такой же реальной протяжённости он будет измерен как $l' = l/\sqrt{1-v^2/c^2}$. То есть он будет численно больше, так как измеряется тоже *сокращённым* эталоном длины.

Тогда реальное время движения света, которое можно было бы измерить в АСО, в прямом направлении будет $\Delta t_1 = \frac{l'\sqrt{1-v^2/c^2}}{c-v}$ (здесь уже учтено сокращение длины твёрдых тел вдоль направления v). А реальное время его движения в обратном направлении будет $\Delta t_2 = \frac{l'\sqrt{1-v^2/c^2}}{c+v}$. И общее время движения света составит не (1.1), а

$$\Delta t = \frac{2cl'\sqrt{1-v^2/c^2}}{c^2-v^2} = \frac{2l'}{c\sqrt{1-v^2/c^2}}. \quad (1.3)$$

Теперь мы видим, что оба временных промежутка (1.3) и (1.2) будут между собою реально равны. Это говорит о том, что реально средняя скорость света в замкнутом цикле движения уже должна быть *численно постоянной* при измерении в движущейся ИСО в любом направлении. Но при этом величина этой средней за цикл движения относительной скорости получается не c , а как видно из (1.2) и (1.3)

$$c_y = c\sqrt{1 - v^2/c^2}. \quad (1.4)$$

Но из (1.4) видно и то, что измеренная скорость света была бы ниже *собственной* скорости распространения света в АСО. И реально она будет равна c только для случая, когда $v=0$. А это случай, когда точка излучения остаётся неподвижной в реальном физическом пространстве как таковом, а система отсчёта реально является АСО.

Однако при измерении в *реальном* эксперименте, т.е. в движущейся ИСО, мы всё же *численно получаем* значение скорости света c , которое и соответствует её значению, полученному из электродинамики. Правда, с достаточной точностью такие измерения скорости света были выполнены Майкельсоном лишь в 1926 г. ($c = 299796 \pm 4$ км/сек), а потом и ещё более точно американцем К. Ивенсоном с сотрудниками много лет спустя в 1972 г. ($c = 299792456,2 \pm 1,2$ м/сек).

Поэтому, хотя и с многолетним опозданием, но всё же с неизбежностью следует предположить то, что Лоренц предположил уже тогда, что и *часы* в движущейся ИСО *замедляют свой ход*, т.е.

$\Delta t' = \Delta t\sqrt{1 - v^2/c^2}$, где Δt - некоторая *длительность*, отсчитанная часами АСО, и $\Delta t'$ - эта же *длительность*, но уже отсчитанная часами ИСО.

Возвращаемся к формулам (1.2) и (1.3) и заменим в них показания часов АСО на показания собственных часов ИСО, в которой и проводится измерение. Тогда обе формулы дадут нам

$$\Delta t' = \Delta t\sqrt{1 - v^2/c^2} = \frac{2l'\sqrt{1 - v^2/c^2}}{c\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{2l'}{c}, \text{ или } \frac{2l'}{\Delta t'} = c.$$

Другими словами, *собственные* измерения скорости света в движущейся ИСО, выполненные с достаточной точностью, всегда будут давать нам её численное значение c . Это и есть *проявление ПО* в

этом процессе со светом, с *законом* его распространения; в той формулировке, которая *подчёркнута выше*.

Вот так, во-первых, у нас *реально появилось измеренное численное значение* скорости света в вакууме. Во-вторых, измерения скорости света Майкельсоном, а потом и Ивенсоном можно считать экспериментальным доказательством *реального сокращения* тел при движении в эфире и *реального замедления хода* движущихся часов.

2. Реальные изменения тел при их абсолютном движении.

Проведенный анализ приводит нас к однозначному заключению: раз мы всегда, независимо от движения нашей лабораторной установки, получаем в эксперименте постоянное значение скорости света, то наша установка в направлении собственного движения должна *сокращать* свою протяжённость в зависимости от скорости своего движения, а эталонные часы с таким же коэффициентом, должны *замедлять* длительность своего циклического процесса.

Но Лоренц сокращение протяжённости твёрдых тел и замедление хода часов при их *собственном* движении принял уже тогда. И в разрабатываемой теории всё стало согласовываться с опытом. Тем самым уже тогда был сделан первый шаг к примирению механики с электродинамикой.

Кроме того, уже в конце XIX века физики пришли к выводу, что даже в состоянии абсолютного покоя любое тело содержит в себе огромный запас внутренней энергии $E_0 = m_0 c^2$, где m_0 - масса покоя тела. Тогда, чтобы тело стало двигаться, к нему следует приложить силу, которая сообщит ему внешнюю скорость \mathbf{v} и соответствующую ей кинетическую энергию. Но так как сила $\vec{F} = d(m\vec{v})/dt$, то при этом возрастает не только скорость тела, но и увеличивается его масса, а полная энергия станет равна $E = mc^2$. Если к телу с массой m , движущемуся со скоростью \mathbf{v} , и далее прикладывать силу F , то энергия тела станет возрастать по закону $dE = \vec{F} \cdot \vec{v} dt$. Тогда можно записать, что

$$\frac{d(mc^2)}{dt} = \vec{v} \cdot \frac{d(m\vec{v})}{dt}. \quad (2.1)$$

Если обе части уравнения (2.1) умножить на $2m$, то его можно переписать в виде $\frac{d(m^2 c^2)}{dt} = \frac{d(m^2 v^2)}{dt}$. Отсюда $m^2 c^2 = m^2 v^2 + C$. (2.2)

А так как при скорости $v=0$ масса покоя тела m_0 , то постоянная C определится как $m_0^2 c^2$. И уравнение (2.2) запишется в виде $m^2 c^2 = m^2 v^2 + m_0^2 c^2$. Из него непосредственно следует, что

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}. \quad (2.3)$$

Отсюда электродинамика и механика приводились уже к полному согласию, что и отметил в своих «Лекциях» Р. Фейнман [10].

3. Построение инерциальных систем отсчёта (ИСО)

Лоренц также пришёл к выводу, что независимо от применяемой СК при рассмотрении в ней движений, соизмеримых по скорости со скоростью света c , мы уже не можем обходиться визуальной регистрацией временных моментов с помощью всего лишь одних часов. Часы должны быть практически во всех точках СК, а их показания необходимо согласовать между собой с помощью световых сигналов с учётом времени их распространения от точки к точке.

Таким образом, любая инерциальная СК становится ИСО *только после того*, как в ней создана *система* регистрации показаний часов в каждой её точке. Как уже было сказано выше, у Эйнштейна такая процедура сверки показаний разноместных часов в какой-либо инерциально движущейся СК названа «*синхронизацией их хода*». У Лоренца она названа просто сигнальной процедурой *сверки показаний разноместных часов*. Наиболее простой способ проведения сигнальной процедуры согласования между собой показаний разноместных часов в любой СК следующий.

Для каждой точки СК, где установлены часы, определяется её расстояние l от начала координат её же эталоном. Часы в каждой точке заранее устанавливаются на показания $t=l/c$. Для начала координат это будут нулевые показания. Одновременно с запуском хода часов в начале координат здесь же производят импульсную световую вспышку. Когда световой фронт, распространяясь от вспышки, достигает какую-либо точку с часами, часы в ней тут же запускаются в ход. После окончания процедуры, имея *систему регистрации показаний разноместных часов*, покоящаяся в эфире СК, становится АСО. Проведя точно такую же сигнальную процедуру в

инерциально движущейся СК, мы получим просто некоторую ИСО. Покажем это конкретно, рис. 3.1.

На рис. 3.1 показано одновременное проведение сигнальной процедуры в абсолютно покоящейся и движущейся СК. Начала координат обеих систем в момент *а)* совпадают и в этой точке вспыхивает свет, часы в *O* и *O'* запускаются в ход с нуля. Через время $\Delta t = t_0 = l/c$ по часам в *O* взаимное положение СК показано в момент *б)*. Световой фронт объективно одновременно достигает точек *A, A', C, C', B, B', D, D'*. Часы в этих точках сразу же запускаются в ход с заранее установленными начальными показаниями. Покажем, какими будут эти показания.

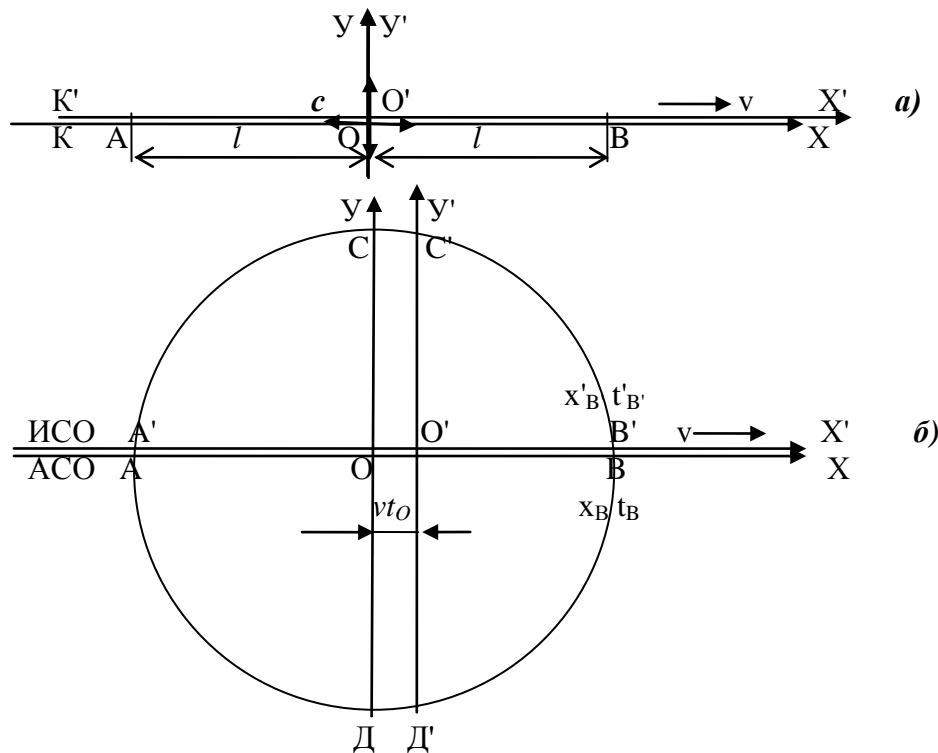


Рис. 3.1. *а)* Начальный момент проведения сигнальной процедуры одновременно в абсолютно покоящейся *K* и движущейся *K'* системах. *б)* Взаимное положение СК в некоторый момент $t_0 = l/c$ по часам в точке *O*; световой фронт одновременно достигает точек *A, A', C, C', B, B', D, D'*.

Так как точки *A, B, C* и *D* находятся в покоящейся СК на равном расстоянии l от точки *O*, то на их часах заранее были установлены показания l/c . Поэтому в момент запуска в ход этих часов на них будут те же показания, что и на часах в *O* в этот же момент. Все часы в покоящейся СК после этого идут синхронно (т.е. *в фазе*) и она

становится АСО с абсолютно текущим временем. По её разноместным часам, непрерывно регистрируя, что происходит рядом с ними, мы могли бы в любой интересующий нас момент *воспроизвести* картину того, что *объективно реально* происходило (т.е. *существовало*) одновременно по всему её координатному пространству. И тем самым *как бы наблюдать* в данный момент (*мгновение*) всё явление целиком. Имея такие «наблюдения» различных явлений в разные *моменты*, мы могли бы установить и законы их абсолютного (самых по себе) протекания.

А теперь посмотрим с помощью «наблюдений» через АСО, какими же будут объективно реально одновременные показания в разных точках на часах движущейся СК. Смотрим, что же конкретно мы имеем.

Расстояние $O'B'$ в АСО равно $l - vt_0$. А так как в K' собственные эталоны длины короче, то оно будет измерено как $(l - vt_0)/G$, где $G = \sqrt{1 - v^2/c^2}$. Тогда в момент запуска часов в B' на них будут показания $t'_{B'} = \frac{l - vt_0}{G \cdot c}$. А с учётом того, что $t_0 = t_B = l/c$, эти показания будут $t'_{B'} = \frac{t_B - vx_B/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$. (3.1)

На часах в A' показания будут $t'_{A'} = \frac{l + vt_0}{G \cdot c}$. Расстояние $O'C'$ равно $\sqrt{l^2 - (vt_0)^2}$, а так $t_0 = l/c$, то $\sqrt{l^2 - (vt_0)^2} = lG$. Тогда показания часов в C' будут $t'_{C'} = \frac{lG}{c} = t_0 G$. Часы в K' идут замедленно в сравнении с часами АСО, поэтому часы в O' покажут $t'_{O'} = t_0 G$. И мы видим, что они *такие же*, как и на часах в C' . Такими же будут и показания часов в точке D' . То есть во всех плоскостях в K' , перпендикулярных направлению её абсолютного (*собственного*) движения, будет как бы своё единое время. Но если, теперь уже в ИСО, время едино в только что указанных плоскостях, то в АСО оно едино по всему её пространству. В момент, изображённый на рис. 3.1б, время (показания часов) в АСО будет $t_0 = t_A = t_B = t_C = t_D = l/c$.

Сравним показания часов ИСО в точках A' и B' в этот же момент времени $t_0 = l/c$ по часам АСО: $t_{A'} - t_{B'} = \frac{l + vt_0}{cG} - \frac{l - vt_0}{cG} = \frac{v}{c^2} \cdot \frac{2l}{G}$. Здесь

$\frac{2l}{G} = 2l' = A'B'$ есть *собственное* расстояние в ИСО, разделяющее эти точки. Тогда сразу же можно сделать вывод: если в ИСО, движущейся в эфире с *собственной* скоростью v , какие-либо двое её часов разделены по ходу её движения *собственным* расстоянием l' , то разность их показаний в любой объективно реальный момент будет $\Delta t' = \frac{vl'}{c^2}$. При этом *отстают* в своих показаниях часы, находящиеся *впереди* по ходу движения.

4. Вывод преобразований Лоренца

Если на рис. 3.1 обозначить координату точки В' в ИСО как $x'_{B'}$, а координату точки В в АСО как x_B , то, как видно из рисунка, их можно связать между собой как $x'_{B'} = \frac{x_B - vt_B}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$. Здесь в числителе стоит расстояние О'В', измеренное эталоном длины в АСО и равное $x_B - vt_B$. А так как в ИСО собственный эталон длины короче, то в ней и нужно разделить полученное в АСО расстояние на указанный квадратный корень.

Показания часов в точках В и В' будут связаны между собой, как и показано в (3.1), $t'_{B'} = \frac{t_B - vx_B/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$. Их может вычислить и условный наблюдатель в АСО, находящийся в точке В. Он рассуждает так.

На часах в В время t_B . Следовательно, столько времени к этому моменту ИСО уходила от точки согласования начал координат (рис. 3.1а). А так как в ней часы идут медленнее, то все они ушли вперёд на время $t_B G$. Но часы в В' находятся впереди по ходу движения от часов О' на расстоянии $(x_B - vt_B)/G$ по собственным измерениям в К'. Тогда они уже в начальный момент отставали от часов в О' на $v(x_B - vt_B)/c^2 G$. Следовательно, в данный момент они будут показывать $t'_{B'} = t_B G - v(x_B - vt_B)/c^2 G = \frac{t_B - vx_B/c^2}{G}$. Что и соответствует показанному выше значению.

Так как точки В и В' взяты произвольно, то в более общем виде преобразования $x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ и $t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ называются

преобразованиями Лоренца (ПЛ). Из них также легко получить и обратные преобразования:

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \text{и} \quad t = \frac{t' + vx'/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \quad (4.1)$$

Они в точности соответствуют первым, если учесть, что для движущейся К' скорость v в них изменила свой знак. Но интересно показать, как их может вычислить условный наблюдатель ИСО, находящийся в точке В'. Он рассуждает почти точно так же, как и наблюдатель АСО в В. Вначале об x_B .

С точки зрения наблюдателя в точке В' теперь уже начало координат АСО ушло от точки согласования координат систем на расстояние $vt'_{B'}$. А так как собственная координата точки В' равна $x'_{B'}$, то, следовательно, точка О отстоит в ИСО от точки В' на расстоянии $(x'_{B'} + vt'_{B'})$. А так как теперь уже АСО движущаяся, то в соответствии с ПО *считается*, что в ней продольные размеры, включая и эталон длины, сократились, и собственная координата точки В будет $x_B = \frac{x'_{B'} + vt'_{B'}}{G}$. Это и показано выше.

Теперь о показаниях часов в В.

На часах в В' время $t'_{B'}$. А так как в В часы идут медленнее (с точки зрения ИСО), то они ушли вперёд от нулевого момента на время $t'_{B'}G$. Но часы в В находятся сзади по ходу относительного движения от часов О (К движется влево по отношению к К') на расстоянии $x_B = (x'_{B'} + vt'_{B'})/G$ по собственным измерениям в К. Тогда они уже в начальный момент были впереди часов в О на $v(x'_{B'} - vt'_{B'})/c^2G$. Следовательно, в данный момент они будут показывать $t_B = t'_{B'}G + v(x'_{B'} + vt'_{B'})/c^2G$. Или $t_B = \frac{t'_{B'} + vx'_{B'}/c^2}{G}$. Что и соответствует (4.1).

Хотя ПЛ впервые и были получены Лоренцем и носят его имя, сам он считал их чисто математическим приёмом [11], не имеющим физического смысла, так как сам получил их практически методом подбора, чтобы получить один и тот же вид уравнений электродинамики, как для неподвижной, так и для движущейся ИСО.

Эйнштейн же даёт вывод данных преобразований в своей первой работе по СТО, исходя из условий, чтобы сохранялось прямолинейное

механическое движение и уравнение волновой поверхности в любой ИСО. Но, как отмечали многие исследователи теории относительности, физический смысл этих преобразований так до конца и не был прояснён.

Вот одно из мнений по этому вопросу: "Выводы Эйнштейна справедливы, однако *преобразования Лоренца представляют собой математическое средство и ненаблюдаемы*; они очень полезны, но явно не имеют физического смысла. Аналогично элемент длины dS^2 Минковского следует рассматривать как очень интересное выражение, но столь же лишённое физического смысла. В обоих случаях правило синхронизации необходимо и не доказано, хотя и не может быть опровергнуто" [13].

Мы же получили выше ПЛ со всей наглядностью. И становится самоочевидным их физический смысл. А так как размеры тел в движущейся ИСО уменьшаются лишь в направлении абсолютного движения, то отсюда сразу же следует, что $y = y'$ и $z = z'$.

Можно получить ПЛ и несколько иным, не менее наглядным, путём. Для этого рассмотрим в АСО движущуюся со скоростью v ИСО. Относительное движение систем происходит вдоль их осей x -ов. Опять же для простоты будем рассматривать только их плоскости XOY , что никак не сказывается на общности самого рассмотрения. Момент совпадения начал СК примем как нулевой.

Далее допустим, что в некоторый момент времени t по часам в АСО в точке A её пространства с координатами x, y произошло какое-либо событие. Координаты этого же события в движущейся ИСО обозначим x', y' , а момент времени, зафиксированный в точке события, обозначим через t' . Искомая система преобразований должна дать нам связь между всеми этими величинами. И эту связь легко установить из рис. 4.2, на котором показано взаимное положение систем отсчёта и события A в момент совершения последнего.

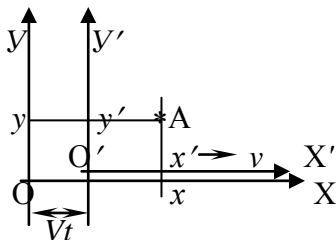


Рис. 4.2. Взаимное положение АСО и движущейся ИСО в момент совершения некоторого события в точке A .

За время t ИСО сместилась вдоль оси x -ов относительно АСО на расстояние $OO' = vt$. И, прежде всего, мы сразу же видим, что $y' = y$ (а, следовательно и $z' = z$), а координата x' находится из следующих элементарных соображений.

Так как в АСО $o'x' = x - vt$, но расстояния вдоль направления абсолютного движения в самой ИСО оцениваются увеличенными в $1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$ раз, то $x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ (4.2).

А так как часы в ИСО идут медленнее в $1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$ раз в сравнении с часами в АСО, то часы в точке o' будут показывать время $t' = t\sqrt{1 - v^2/c^2}$. Но часы в x' отстают от часов в o' на величину vx'/c^2 (сдвиг показаний). Следовательно, часы в точке x' (и в точке А) будут показывать $t' = t\sqrt{1 - v^2/c^2} - vx'/c^2$. Подставим в это выражение значение x' из (4.2) и получим, что $t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$.

Точно так же получаем и обратные преобразования

В последнем случае вместо знака «-» в верхней части дроби будет знак «+», так как скорость АСО по отношению к ИСО имеет противоположное направление. И мы убеждаемся в том, что полученные преобразования $x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ и $t = \frac{t' + vx'/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ совершенно одинаковы по форме, как для АСО, так и для ИСО.

Остается лишь показать, что измерение *относительной* скорости АСО, выполненное в ИСО, даёт то же самое значение v , но со знаком минус с учётом её направления. Это легко сделать, обратившись ещё раз к последнему рисунку.

В рассматриваемый момент времени начало системы координат АСО находится против точки x'_o . Так как координата точки O' в АСО равна vt , то в ИСО координата точки O будет оценена как

$$x'_o = -vt/\sqrt{1 - v^2/c^2}. \quad (4.3)$$

Показания часов ИСО в точке x'_o будут на $v|x'_o|/c^2$ делений больше, чем в точке O' (сдвиг показаний), а значит составят

$$t' = t\sqrt{1 - v^2/c^2} + v|x'_o|/c^2 \quad (4.4).$$

Тогда скорость v' относительного движения АСО в ИСО с учётом (4.3) и (4.4) будет определена как

$$v' = \frac{x'_o}{t'} = \frac{-vt}{\sqrt{1-v^2/c^2} \left(t\sqrt{1-v^2/c^2} + \frac{vvt}{c^2\sqrt{1-v^2/c^2}} \right)} = -v .$$

Так как практически мы лишены возможности пользоваться АСО, нам интересно также узнать, как преобразуются координаты и время какого-либо события при переходе от одной ИСО к другой. По сути, мы уже ответили на этот вопрос выше, когда пришли к выводу, что любую ИСО можно *условно* рассматривать как АСО. То есть преобразования во всех случаях переходов от одних ИСО к другим должны иметь одну и ту же форму. Но покажем это опять же конкретно и наглядно. Для этого к рассмотренным выше системам отсчёта добавим ещё одну ИСО. Теперь одну из них мы назовем ИСО1, а вторую – ИСО2.

Пусть оси координат всех наших систем отсчёта будут взаимно параллельны. ИСО1 движется вдоль оси x -ов АСО со скоростью v_1 , а ИСО2 также движется в том же направлении, но уже со скоростью v_2 , причем $v_2 > v_1$. Допустим далее, что в какой-то момент времени начала СК всех трёх систем отсчёта совпали, и примем этот момент как нулевой. Опять рассмотрим некоторое событие А в плоскости ХОУ.

Итак, в момент времени t по часам в АСО происходит некоторое событие в точке А с координатами x и y в этой же системе. Координаты этого же события в ИСО1 будут x' , y' , а время t' . В ИСО2 координаты события x'' , y'' , а время t'' . Данная ситуация показана на рис.4.3. Из него сразу ясно, что $y=y'=y''$, а также $z=z'=z''$.

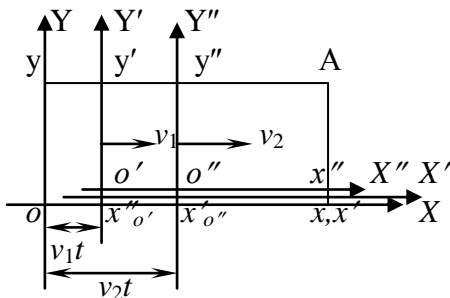


Рис. 4.3. Взаимное положение систем отсчёта и точечного события в А в момент его совершения.

Используя полученные выше преобразования, можем также записать, что, с одной стороны, $x = \frac{x' + v_1 t'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ и $t = \frac{t' + v_1 x'/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$, а с другой стороны, $x = \frac{x'' + v_2 t''}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ и $t = \frac{t'' + v_2 x''/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$.

Откуда получаем равенства: $x' + v_1 t' = x'' + v_2 t''$ и $t' + v_1 x'/c^2 = t'' + v_2 x''/c^2$. А решая совместно эти равенства, находим,

что:

$$x' = \frac{x'' + \frac{(v_2 - v_1)t''}{1 - v_1 v_2/c^2}}{\sqrt{1 - \frac{(v_2 - v_1)^2}{(1 - v_1 v_2/c^2)^2 c^2}}}, \quad t' = \frac{t'' + \frac{x''(v_2 - v_1)}{c^2(1 - v_1 v_2/c^2)}}{\sqrt{1 - \frac{(v_2 - v_1)^2}{(1 - v_1 v_2/c^2)^2 c^2}}},$$

$$x'' = \frac{x' - \frac{(v_2 - v_1)t'}{1 - v_1 v_2/c^2}}{\sqrt{1 - \frac{(v_2 - v_1)^2}{(1 - v_1 v_2/c^2)^2 c^2}}} \quad \text{и} \quad t'' = \frac{t' - \frac{x'(v_2 - v_1)}{c^2(1 - v_1 v_2/c^2)}}{\sqrt{1 - \frac{(v_2 - v_1)^2}{(1 - v_1 v_2/c^2)^2 c^2}}}.$$

Но теперь установим, какими будут относительные скорости v_{21} движения ИСО2 относительно ИСО1 и v_{12} движения ИСО1 относительно ИСО2.

Из рис. 4.3 видно, что значение скорости v_{21} определится как частное от деления координаты $x'_{O'}$ на показания часов $t'(x'_{O'})$ в этой точке ИСО1. Указанную координату можно выразить как

$$x'_{O'} = (v_2 t - v_1 t) \frac{1}{\sqrt{1 - v_1^2/c^2}}. \quad (4.5)$$

А показания часов в этой точке будут на $x'_{O'} v_1/c^2$ делений меньше, чем в точке O' , которые, в свою очередь, будут равны

$$t'_{O'} = t \sqrt{1 - v_1^2/c^2}. \quad (4.6)$$

Тогда скорость $v_{21} = \frac{x'_{O'}}{t'_{O'} - x'_{O'} v_1/c^2}$, а с учётом (4.5) и (4.6)

$$v_{21} = \frac{v_2 - v_1}{1 - v_1 v_2/c^2}. \quad (4.7)$$

Значение скорости v_{12} определится как частное от деления абсолютного значения координаты $x''_{O'}$ на показания часов в этой точке ИСО2. Абсолютное значение указанной координаты получим как $|x''_{O'}| = (v_2 t - v_1 t) / \sqrt{1 - v_2^2/c^2}$. (4.8)

А показания часов будут на $|x''_0|v_2/c^2$ делений больше, чем в точке O'' , которые в этой точке равны $t''_0 = t\sqrt{1-v_2^2/c^2}$. (4.9)

Тогда скорость $v_{12} = \frac{|x''_0|}{t''_0 + |x''_0|v_2/c^2}$, а с учётом (4.8) и (4.9)

$$v_{12} = \frac{v_2 - v_1}{1 - v_1 v_2 / c^2}. \quad (4.10).$$

Итак, сравнивая (4.7) и (4.10), мы видим, что $v_{21} = v_{12} = \frac{v_2 - v_1}{1 - v_1 v_2 / c^2}$.

Тогда, полученные выше значения для x' , t' и x'' , t'' будут

$$x'' = \frac{x' - v_2 t'}{\sqrt{1 - v_2^2/c^2}}, \quad t'' = \frac{t' - \frac{v_2 x'}{c^2}}{\sqrt{1 - v_2^2/c^2}}; \quad x' = \frac{x'' + v_{12} t''}{\sqrt{1 - v_{12}^2/c^2}}, \quad t' = \frac{t'' + \frac{v_{12} x''}{c^2}}{\sqrt{1 - v_{12}^2/c^2}}.$$

И мы действительно убеждаемся в том, что преобразования координат и показаний часов для одних и тех же событий при переходе от одной ИСО к другой имеют одну и ту же форму. Именно в силу этого они и носят групповой характер, что было показано ещё А. Пуанкаре. Поэтому мы могли бы и не делать только что приведенных выкладок, а просто сослаться на то, что ещё Пуанкаре установил тот факт, что ПЛ представляют собой непрерывную математическую группу с переменным параметром v . А следовательно, общий вид преобразований, то есть их форма, будет одной и той же, независимо от того, преобразуем ли мы пространственные и временные координаты каких-либо событий от АСО к ИСО1, от АСО к ИСО2, от ИСО1 к ИСО2, или наоборот.

На этом вопрос с преобразованиями координат и времени при переходе от одной системы отсчёта к другой полностью исчерпан. А заодно мы получили здесь и формулы «сложения скоростей» в СТО [14], когда нашли v_{12} и v_{21} через v_1 и v_2 .

Как видим, природа устроена так, что мы можем обходиться без АСО при решении многих физических задач, пока мы не делаем их слишком глобальными.

Наконец, последнее, что следует отметить уже здесь, следующее. Объективно реально все мировые события, независимо от их масштаба, происходят в объективно реальном физическом пространстве и времени как таковых. Но так как мы вынуждены

изучать их и, прежде всего, наблюдать и измерять, из тех или иных движущихся систем отсчёта, то нам обязательно следует учитывать тот факт, что все наши «измерения» обязательно становятся пространственно-временными и обязательно по отношению к нашей пространственно-временной измерительной конструкции. В СТО после «синхронизации» часов в любой движущейся ИСО вся её измерительная конструкция неизбежно становится тем, что мы называем *пространство-время* (П-В). И это П-В для каких-либо разных событий уже нельзя разделить на объективно реальное «пространство» и объективно реальное «время» между ними, хотя объективно реально они существуют именно как объективно реальная протяжённость и объективно реальная длительность. Это наглядно можно показать на таком простом примере.

Допустим в некоторой ИСО, движущейся с абсолютной скоростью v , в её начале координат происходят последовательно какие-либо два события с собственным временным интервалом $\Delta t'$. Если теперь перейти к единому абсолютному времени, то эти два события разделены объективно реальным временным промежутком $\Delta t = \Delta t' / \sqrt{1 - v^2/c^2}$, а также абсолютным объективно реальным расстоянием $l = v\Delta t$. А по отношению к П-В самой ИСО они не разделены «пространством», а разделены лишь «временем».

5. Как бы мы выполняли измерения в АСО

Так как *теоретически мыслимая* АСО жёстко связана с неподвижным *в целом* эфиром, то в ней все разноместные часы принципиально легко согласуются с помощью световых сигналов так, что в любой *момент* (т.е. *одновременно*) все они будут иметь *одинаковые показания*. Иначе можно сказать, что они будут *синхронизированы* между собой по своим *показаниям*, а ещё иначе – будут *идти в фазе*. Кроме того, ещё можно сказать и так, что если бы мы могли окинуть все часы в АСО «*мгновенным взором*», то увидели бы на них *одинаковые показания* и их непрерывную *одновременную* смену. Все эти высказывания *равнозначны!*

Так как все часы в АСО будут *синхронно* (т.е. *одновременно*) изменять и свои показания (т.е. иметь *синхронный ход*), отсчитывая *эталонную длительность*, то в АСО будет и *единое* (можно сказать, *абсолютное*) время. Это и есть абсолютное время Ньютона, идущее

всегда и везде одинаково. Кроме того, в классической механике считалось, что даже если часы как-то движутся, то их абсолютный ход всё равно сохраняется. Никаких оснований считать иначе вроде бы не было. И вот новые прецизионные эксперименты со светом и другими электромагнитными явлениями неожиданно внесли смуту в устоявшиеся представления физиков.

Физики вдруг задумались, казалось бы, над совершенно простыми вопросами. Например, а как нам методически правильно измерить скорость движения и протяжённость твёрдого стержня эталонной длины даже в некоторой АСО, если его *собственная* скорость равна, скажем, $0,5c$? И хотя у нас такой АСО реально нет, *принципиально правильное построение теории* требует давать и *принципиально правильные ответы* на все возникающие вопросы. И эти ответы могут дать даже *мысленные* эксперименты, если их «проводить», по-настоящему *осмысливая* каждую деталь.

Посмотрим, как же принципиально правильно можно измерить скорость быстро движущегося твёрдого стержня в АСО. В классической механике считалось, что это можно было бы сделать так, рис. 5.1.

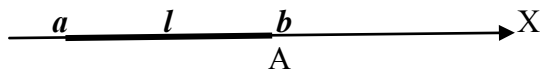


Рис. 5.1. Стержень движется в АСО вдоль оси X мимо точки A с часами.

Стержень, длина которого в состоянии покоя в АСО измерена как l , движется в направлении некоторой оси X. На этой оси в какой-либо точке A заранее устанавливаем часы и, когда передний конец стержня b появится в этой точке, регистрируем показания часов t_b . Затем регистрируем показания часов t_a , при прохождении через эту же точку второго конца a стержня. Отсюда скорость движения стержня вычисляется как $v = \frac{l}{t_a - t_b}$. (5.1)

Всё это тривиально, но всё-таки уточним для полной ясности, что в этом случае l считается *протяжённостью пути*, пройденного стержнем в АСО, а $t_a - t_b$ объективно будет *длительностью* этого движения. И если обе величины определены эталонами АСО, то только в этом случае v будет реальной скоростью стержня в АСО, т. е. его *собственной* скоростью движения.

Однако лабораторные эксперименты по измерению скорости света и их *анализ* с точки зрения классических представлений о собственном движении тел и собственной скорости распространения света подсказывают нам, что *протяжённость* стержня при собственном движении закономерно уменьшается. Только в этом случае при лабораторном измерении скорость распространения света *в любом направлении* будет получаться постоянной, что и подтверждает опыт. Но тогда величину l уже *нельзя* считать *протяжённостью* пути, пройденного стержнем в АСО, даже если стержень измерить её же (АСО) эталоном в покое. Это заставляет нас отклонить такой способ измерения скорости v . Поэтому будем измерять скорость движения стержня в АСО иначе, рис. 5.2.

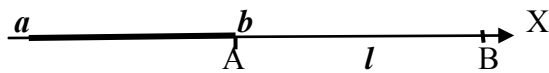


Рис. 5.2. Стержень движется в АСО мимо точек А и В с часами в них.

Отложим величину l от точки А по оси X, рис. 5.2. Тут уже протяжённость АВ действительно равна l по эталону АСО. Теперь регистрируем вначале показания часов t_A в точке А, когда там будет точка **b** стержня, а потом регистрируем показания часов t_B в точке В, когда её будет проходить опять же точка **b**. А так как в АСО для всех разноместных часов «*время едино*», т.е. все часы в любой момент имеют одинаковые показания (*идут в фазе*), то теперь уже $t_B - t_A$ даст нам *объективно реальную длительность* этого движения. И мы действительно получим *собственную* скорость движения стержня в АСО как $v = \frac{l}{t_B - t_A}$.

Далее рассмотрим, как можно измерить *длину* движущегося стержня в АСО. Для этого мы должны в какой-либо один и тот же *момент* (т.е. *одновременно*) зарегистрировать положение его концов **a** и **b** на оси X, рис. 5.3. Показания часов t_A в точке А и показания часов t_B в точке В одинаковые, т.е. в АСО *объективно* одновременные.

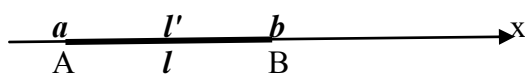


Рис. 5.3. Положение движущегося стержня **ab** в АСО на оси X в некоторый временной момент $t_A = t_B$.

Зарегистрированные координаты точек x_A и x_B , а следовательно, *протяжённость* (она же *длина*) движущегося стержня в АСО равна $x_B - x_A = l$. А из анализа лабораторных экспериментов по измерению скорости света следует, что $l = l' \sqrt{1 - v^2 / c^2}$, (5.2)

где l' - собственная длина стержня, измеренная в СК, движущейся со стержнем, а c – *объективно реальная* скорость распространения света в АСО от точки излучения. И она равна полученной в электродинамике Максвелла скорости распространения от точки излучения электромагнитных волн в вакууме. Это и есть то, что должно называться в *специальной теории относительности* (СТО) *принципом постоянства скорости света* (ППСС).

Обратим внимание на то, что, с одной стороны, выражение (5.2) есть результат *измерения длины* стержня, движущегося в АСО. Но, с другой стороны, мы тем самым установили и *закон* (или *форму закона*) изменения *протяжённости* твёрдого тела при *абсолютном* движении.

Чтобы в дальнейшем исключить какую-либо путаницу в применении таких близких по смыслу понятий как *протяжённость*, *длина*, *расстояние*, *размер*, *разность координат*, *величина АВ* и т.п., сразу же внесём ясность, что же следует понимать под каждым из них. Во-первых, все они будут не просто обозначаться общепринятыми символами, например, такими как l , l' , L , L' , Δx , и т.п., но и будут иметь определённое численное значение. Во-вторых, каждая такая численная величина всегда будет определена в какой-то конкретной СК, размеченной с помощью общепринятого эталона. В-третьих, понятие *протяжённость* обычно понимается как некоторый *натуральный размер* тела или чего-либо другого как бы самого по себе без привязки к конкретной СК или *системе отсчёта* (СО). Поэтому размеры разных тел всегда находятся в *объективно реальном однозначном* по протяжённости отношении друг к другу (больше, меньше или равны). Но при этом всегда, может быть даже в подсознании, под *протяжённостью* всё же мыслилось и какое-то возможное *объективно реальное* (и в этом смысле *абсолютное*) *однозначное* численное её выражение. Но численное выражение без *конкретной* СО с её СК *в принципе невозможно*. Поэтому

договоримся, что мы всегда, теперь уже вполне *осознанно*, будем иметь в виду, что этот *натуральный* размер всё же привязан к АСО и её эталону, Например, на рис. 5.3 *ab* имеет такую же протяжённость как АВ. Но через отношение к эталону АВ и *ab* имеют и *численную абсолютную длину l*. Все остальные родственные протяжённости понятия каждый раз численно будем связывать с конкретной СО с её внутренним эталоном. И в этих СО они будут иметь и *собственную внутреннюю* (т.е. *относительную*) численную длину. Например, в нашем случае, если с *ab* связать ИСО, то собственная длина *ab=l'*.

Следующий принципиально важный вопрос заключается в правильном измерении в АСО *темпа хода* (или просто *хода*) движущихся эталонных часов. Ход эталонных покоящихся в АСО часов назовём *абсолютным*. С движущимися часами всегда можно связать некоторую СК, в которой они будут покоиться. Их эталонный ход, воспроизводимый непосредственно в данной СК, назовём *относительным*. Относительный ход эталонных часов можно также называть *собственным* ходом часов в принятой СО.

Ход часов характеризуется *частотой* принятого эталонного периодического процесса и *длительностью* его периода. Опять же из *анализа* лабораторных экспериментов по измерению скорости света следует, что ход часов при движении замедляется в отношении $\nu' = \nu \sqrt{1 - V^2/c^2}$, где: ν – частота хода покоящихся в АСО часов, принятая за эталонную; ν' - частота хода движущихся со скоростью V часов, *измеренная покоящимися в АСО часами*. А длительности их периодов соответственно будут относиться как $1/\nu' = 1/\nu \sqrt{1 - V^2/c^2}$ или $T' = T / \sqrt{1 - V^2/c^2}$, где: T - длительность эталонного периода в АСО; T' - длительность эталонного периода в ИСО, жёстко связанной с движущимися часами, опять же *измеренная покоящимися в АСО часами*. Поэтому, если длительность своего же (ИСО) движения вдоль оси X покоящимися в ИСО часами будет измерена как $\Delta t'$, то часы в АСО измерят её как $\Delta t = \Delta t' / \sqrt{1 - V^2/c^2}$. Вот мы и должны *наглядно* показать, как это всё и происходит в АСО, рис. 5.4.

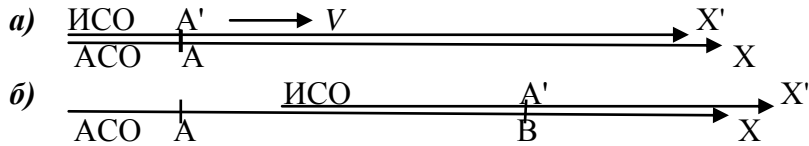


Рис. 5.4. Часы A' , покоящиеся в ИСО, движутся вместе с ней со скоростью V в АСО вдоль оси X вначале мимо часов A (момент *а*), а потом и B (момент *б*).

A делается всё довольно просто. Когда часы в точке A' вместе со своей ИСО движутся мимо часов АСО в точке A , показания обоих принимаются как нулевые. А так как в АСО «время едино», то точно такие же показания часов будут и в точке B . Затем, когда часы A' будут уже против часов АСО в точке B , снова регистрируем показания обоих. И если часы ИСО в точке A' идут медленнее, как и указано выше, то они и отсчитают *длительность* $\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - V^2/c^2}$. (5.3)

Следовательно, *длительности* их периодов будут связаны отношением $T' = T / \sqrt{1 - V^2/c^2}$, а частоты связаны отношением

$$\nu' = \nu \sqrt{1 - V^2/c^2}. \quad (5.4)$$

А так как всё это действительно присуще ходу движущихся часов, то это и есть *закон* (или *форма закона*) изменения их хода при *абсолютном* движении. А в более общем смысле (5.4) - это *форма закона* изменения циклических движений при *абсолютном* движении их источника. И нет никакого «замедления времени», так как и ν' , и T' , а также ν и T *отнесены к покоящимся в АСО часам* (к их *абсолютному* ходу), которые и могли бы, имея «единое время», отсчитывать *абсолютные эталонные длительности* (секунды).

6. Движущаяся ИСО и её пространство-время (П-В)

Выше из рис. 3.1 мы наглядно увидели, что разноместные часы в движущейся СК', согласованные между собой с помощью светового сигнала, *не идут синхронно*, т.е. в фазе, как считал Эйнштейн. Таким образом, никакая движущаяся ИСО ни при каких обстоятельствах «единого времени» иметь не может. А координаты её СК и показания условно синхронизированных разноместных часов во всех точках СК *реально* и могли бы образовать то, что называется *пространство-время* (П-В) [6]. Но пока *фактически* такое «пространство-время»

лишь *мыслится* в теории, так как никогда ещё не было реализовано на практике.

То, что показано ниже на рисунке 6.1, можно найти в учебниках, справочниках и многих других пособиях и книгах разных авторов по СТО. Отличие лишь в том, что вместо АСО при этом говорят о «покоящейся системе».

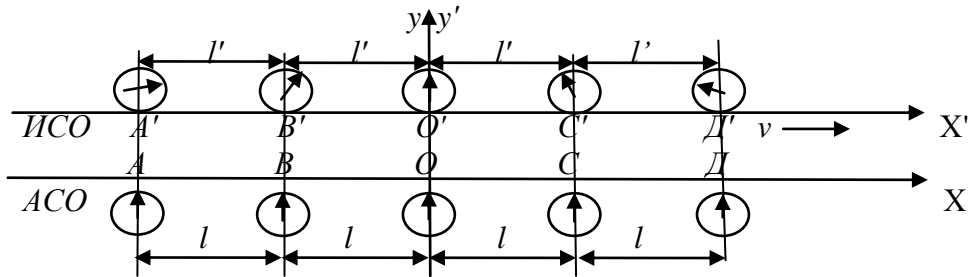


Рис. 6.1. Единые показания на всех часах в материальном пространстве АСО и *пустое* относительно метрическое пространство-время (П-В) движущейся ИСО.

То есть теоретически мыслимую СО с её реальным *физическим* (материальным) пространством подменяют некоторой *субъективно* выделенной (иначе, *назначенной*) СО, координатное метрическое пространство которой *мыслится* абсолютно *пустым*, но *покоящимся*. При этом оно ещё и *однородно*, и *изотропно*, т.е. *пустота* наделяется *физическими свойствами*. И только в нём скорость света *считается* постоянной относительно СК во всех направлениях от любой точки излучения. Поэтому разноместные часы якобы и могут быть *синхронизированы* между собой по своим показаниям так, что в любой момент будут *идти в фазе*. А значит, «время» при этом якобы будет единым (абсолютным).

В изображённый момент, когда начала СК обеих систем совпали, в их точках O и O' показания часов принимаются как нулевые. А поскольку в «покоящейся системе» время *считается единым*, то и показания всех других часов тоже *принимаются* как нулевые. Тогда в движущейся ИСО слева от точки O' часы будут спешить, т.е. по своим показаниям будут впереди на величину $t'_{B'} = vl'/c^2$, $t'_{A'} = v2l'/c^2$ и т.д., а справа будут отставать: $t'_{C'} = -vl'/c^2$, $t'_{D'} = -v2l'/c^2$ и т.д.

Это легко проверить через ПЛ, которыми связаны между собой пространственные и временные координаты обеих систем. Так для

точки В' показания часов будут $t'_{B'} = \frac{t_B - v(-l)/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{vl'}{c^2}$, а для точки С'

будут $t'_{C'} = \frac{t_C - vl/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = -\frac{vl'}{c^2}$, и т.д. Вся картинка в целом есть ничто иное

как «мгновенный взор» из «покоящейся системы», охватывающий сразу обе системы, хотя использовать такой «взор» сегодня в ортодоксальной физике *запрещено*, так же как и в её философии. А чтобы оправдать свои картинки, релятивисты-ортодоксы заявляют, что в каждой ИСО *своя одновременность*. То есть выходит, что всё же можно пользоваться таким «мгновенным взором», но только в той системе, которая *назначена «покоящейся»*, а значит, имеет и своё *абсолютное* время, и свою *условную абсолютную* одновременность.

Обратим внимание также на то, что все показания часов в «покоящейся системе» в точках А, В, О, С, Д и других *существуют* все сразу в показанный момент (*мгновение*), т.е. *одновременно*. Тогда и показания часов ИСО в точках А', В', О', С', Д' и других *существуют* тоже все сразу, т.е. *одновременно*. А поэтому в движущейся ИСО и нет никакой *синхронизации* показаний её разноместных часов. Они не идут в фазе, а поэтому вместе со своими координатами и образуют пространство-время ИСО. Оно было введено в СТО после появления работы Минковского и с тех пор признано академической физикой.

Но *что фактически* при этом признано? А признано то, что, во-первых, *одновременными* в ИСО *считаются* (т.е. *мыслятся*) те события в разноместных точках системы, которые происходят там при *одинаковых показаниях* часов в них. Во-вторых, признано, что вдоль направления движения системы, например, на оси Х', как на нашем рисунке 6.1, раз на ней не существует сразу во всех её точках *единых показаний часов*, то якобы и не существует вдоль неё *одновременных событий*. Если рассматривать нулевой момент в точке О' как *настоящий*, то слева по оси Х' все события уже будут *в прошлом*, а справа - они ещё *в будущем*. Настоящий момент иначе называется «сейчас». А поэтому признано, что момент «сейчас» по всей ИСО *якобы не существует*. А поскольку все ИСО считаются совершенно одинаковыми, то, в-третьих, момент «сейчас» якобы не существует в Мире *объективно реально* вообще.

С другой стороны, когда мы находимся в «покоящейся системе», то выходит, что другие ИСО образуют своё П-В не для себя, а для

«покоящейся системы». Но ей-то оно не нужно! Почему «не для себя»? Да потому, что все ИСО ничем друг от друга *принципиально* не отличаются. И если движущуюся ИСО *назначить* «покоящейся», то П-В в ней сразу же, как по мановению волшебной палочки, превращается в свои *абсолютное* пространство и *абсолютное* время. Кроме того, подчёркивается, что в каждой ИСО должно быть *своё особое физическое время*, а вовсе не «пространство-время»! Правда, это *своё особое физическое время* пригодно только для «внутреннего употребления», но утверждается и то, что оно *едино*, так как все часы *идут в фазе*. Но если время *едино*, то тогда ни в какой ИСО и нет никакого «пространства-времени», а есть своё *пустое* координатное пространство и своё *якобы единое* физическое время в нём.

И ещё подчеркнём такую деталь. Для «покоящейся системы» ось X' движущейся ИСО, будучи некоторым протяжённым жёстким телом, *существует вся сразу*. Это само собой разумеется. Но возникает вопрос: а как тогда быть с движущейся ИСО? Ведь и для неё эта ось *существует вся сразу*. Тогда и определённые нами выше *разные показания* часов в разных её точках тоже *обязаны существовать все сразу*. Однако, как только мы *назначаем* «покоящейся системой» ту, что сейчас движется, то в ней все часы в разных точках ИСО уже *обязаны существовать* при *одинаковых показаниях* часов в них.

И мы снова стоим перед дилеммой: либо в ортодоксальную трактовку СТО *внесена путаница*, либо реальность существует только *по отношению* к «покоящимся системам», либо в Природе *вообще не существует* никакой объективной реальности. Но если учесть, что сам же создатель ортодоксальной трактовки СТО уже в 1920г. открыто заявил, что «система координат представляет собой всего лишь средство описания и сама по себе не имеет ничего общего с описываемыми предметами» [2, т.1, с. 690], а *это значит*, что *объективная реальность* в Природе всё же *существует*, то остаётся лишь одно - *признать*, что в ортодоксальную трактовку СТО всё же *была внесена путаница*.

Однако Эйнштейн так и не увидел своих ошибок, а потому даже в 1948г. в своей статье «Относительность: сущность теории относительности», говоря об СТО, ещё раз подчеркнул: «*Основные результаты специальной теории относительности*. Специальная

теория относительности привела к ясным физическим представлениям о пространстве и времени и в связи с этим к выяснению того, как ведут себя движущиеся масштабы и часы. ... Она в общем виде указала роль, которую играет мировая постоянная C (скорость света) в законах природы, и продемонстрировала существование тесной связи между тем, как в эти законы входят пространственные координаты, с одной стороны, и время – с другой » [2, т. 2, с.660].

Не разглядели ошибок Эйнштейна академики и по сей день, а потому вся эта путаница с «ясными физическими представлениями о пространстве и времени» ещё и сегодня считается *особыми свойствами пространства и времени*. Конечно же, постичь такие *таинственные (мистические)* «свойства» оказалось посильным далеко не всем. Но тем, кому это не удалось, огорчаться не стоит, так как к самим свойствам пространства и времени описанная *академическая путаница* никакого отношения не имеет. Как мы увидим далее, это всего лишь, если можно так выразиться, «свойства» наших «наблюдений» и «измерений» в проводимых мысленных экспериментах, чтобы в любой движущейся ИСО выполнялся ПО.

7. Как ПО проявляется в движущейся ИСО

А теперь давайте разберёмся, а что же здесь действительно изображено на *нашем* рисунке 6.1, где вместо «покоящейся системы», введена теоретически мыслимая АСО, но уже на *объективно реальной основе*. АСО мысленно введена в реальном физическом пространстве. Её координатное пространство является материальной средой. В этой *в целом* покоящейся среде и происходят все физические явления, которые ни от каких СО не зависят. Они протекают по законам самой Природы. И если бы мы могли не мысленно, а реально построить в этой среде покоящуюся АСО, то и могли бы с её помощью и найти указанные законы. Но реально у нас такой возможности нет. Все доступные нам СО реально движутся в мировой среде.

С другой стороны, нам повезло открыть для себя некоторый познавательный принцип (ПО): *по отношению к любой движущейся ИСО, скорость которой меньше скорости света, физические явления через анализ регистраций точечных событий проявляются в той же форме, которую мы могли бы наблюдать в теоретически мыслимой*

АСО, т.е. в той форме, в соответствии с которой они протекают в реальном физическом пространстве.

На основе этого принципа (т.е. ПО), используя закон распространения света (т.е. ППСС), мы и построили свою движущуюся ИСО. А мыслимая АСО позволяет нам как бы увидеть её со стороны «мгновенным взором», который для «покоящейся системы» всё же был разрешён. А потому, тем более, разрешён и для АСО. Это и есть наш рисунок 6.1. И на нём наглядно видно именно то, что должно *существовать*, независимо ни от каких *назначенных нами* «покоящихся систем», которые «сами по себе не имеют ничего общего с описываемыми предметами». В данном случае «описываемым предметом» является сама движущаяся ИСО с её реальным П-В. И оно в ней после *проведенной нами* «синхронизации хода» разноместных часов *объективно реально существует для себя*, а не с точки зрения назначенной «покоящейся системы». Поэтому далее покажем то, как наблюдатели в движущейся ИСО используют *своё* П-В и *что* они при этом получают.

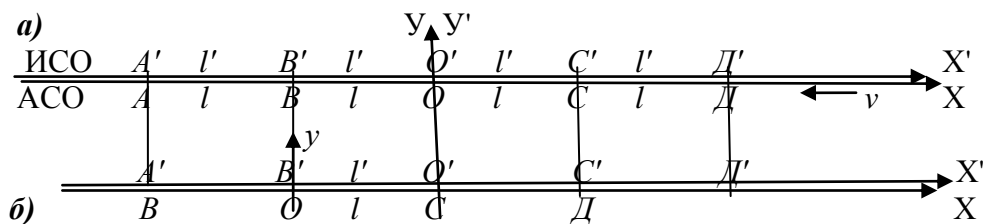


Рис. 7.1. Регистрация в ИСО относительного смещения точки O с её часами.

Для начала покажем, как наблюдатели в движущейся ИСО измерят *относительную* скорость АСО, которая теперь для них направлена влево.

После регистрации момента *а*, когда совпадают оси Y и Y' и точки O и O' и в системах согласовываются между собой показания часов, далее регистрируется, например, момент *б*, когда совпадут точки O и B'. В момент первой регистрации часы ИСО в точке B' имели показания $t'_{B'} = vl'/c^2$. К моменту второй регистрации все часы в АСО уйдут вперёд на число делений $\Delta t = l/v$. А все часы в ИСО уйдут вперёд на $\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - v^2/c^2} = l\sqrt{1 - v^2/c^2}/v$. Тогда в момент второй регистрации часы в B' покажут уже $t'_{B'} = vl'/c^2 + l\sqrt{1 - v^2/c^2}/v$. А так как

$$l = l' \sqrt{1 - v^2/c^2}, \quad (7.1)$$

то показания часов в В' будут $t'_{B'} = vl'/c^2 + l'(1 - v^2/c^2)/v = l'/v$. И скорость АСО относительно ИСО будет определена как $l'/t'_{B'} = v$, т.е. *такой же*, как и абсолютная скорость ИСО в АСО.

Кроме того, так как часы АСО в точке О имеют показания $\Delta t = l/v$, а часы в В' показывают $t'_{B'} = l'/v$, то с учётом (7.1) $t'_{B'} = l/v \sqrt{1 - v^2/c^2} = \Delta t / \sqrt{1 - v^2/c^2}$. С другой стороны, в момент *а* против часов В' в ИСО часы показывали $t'_{O'} = 0$, а в момент *б* против часов О, которые ушли вперёд на $\Delta t = l/v$, часы в В' показывают $t'_{B'} = \Delta t / \sqrt{1 - v^2/c^2}$. Значит, в ИСО могут *считать*, что они «измерили время» движения часов О как $\Delta t'' = t'_{B'} - t'_{O'} = \Delta t / \sqrt{1 - v^2/c^2}$. «Измерили время» взято в кавычки, потому что это не есть *длительность* движения, которая по ходу часов ИСО фактически равна $\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - v^2/c^2}$, так как часы в ИСО идут медленнее. Но «измерение» даёт *обратный результат* $\Delta t'' = \Delta t / \sqrt{1 - v^2/c^2}$, т.е. теперь уже часы АСО как бы идут медленнее.

И этот, «поражающий воображение» результат, ортодоксы называют *«относительным замедлением времени»*. При этом допускается элементарная ошибка в оценке результата. А что же мы видим на самом деле? А видим то, что из АСО мы действительно могли бы установить *закон замедления хода часов при движении*. Но согласно *правильно понимаемому* ПО, *эта же форма закона* проявляется и по отношению к движущейся ИСО через регистрацию точечных событий в ней с помощью её П-В. При этом нам не понабилось *назначать* ИСО «покоящейся системой», а АСО «движущейся». Они *объективно* остаются такими, как есть. И в этом *вся суть и ценность* СТО.

Далее рассмотрим, как будет «измерена длина» эталонного стержня, покоящегося в АСО, опять же через регистрации точечных событий с помощью П-В движущейся ИСО и их правильный анализ, рис. 7.2. Для этого в ИСО нам надо зарегистрировать оба конца стержня так, чтобы часы ИСО имели в точках регистрации *одинаковые показания*. Это то, что называется в теории - «выполнить регистрацию концов стержня в ИСО *одновременно*», а через засечки координат и найти «измеренную длину»; всё как мы делали в АСО.

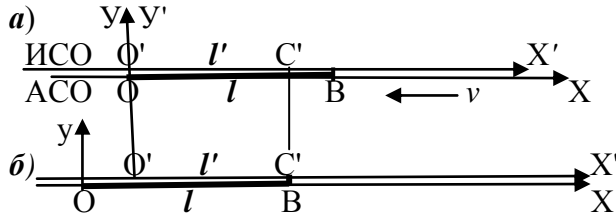


Рис. 7.2. «Измерение» из ИСО «длины» стержня OB , покоящегося в АСО.

В момент a показания часов в обеих системах принимаем как нулевые. Тем самым уже засекаем конец стержня O в ИСО. Возвращаемся к нашему рис. 6.1 и видим, что в этот момент a ни слева, ни справа на оси X' нет часов с нулевыми показаниями. Значит, *реально* засечь оба конца стержня в ИСО *одновременно* нельзя. Но все часы справа от точки O' ещё не дошли до нулевых показаний. Значит, вторую засечку будем делать справа в некоторой точке C' с координатой l' против точки B с координатой l , когда часы в C' будут показывать $t'_{C'} = 0$.

В момент a часы в точке C' имеют показания $t'_{C'} = -l'v/c^2$. Значит, к моменту второй засечки часы в ИСО должны уйти вперёд на $\Delta t' = l'v/c^2$. А так как часы АСО идут быстрее, то в момент b часы в B

будут показывать $t_B = \frac{l'v/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$. Тогда из ПЛ следует, что

$t'_{C'} = \frac{t_B - lv/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$. А так как в этот момент $t'_{C'} = 0$, то подставляя значение

t_B можно записать, что $\frac{l'v/c^2}{(1-v^2/c^2)} = \frac{lv/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$. Отсюда $l' = l\sqrt{1-v^2/c^2}$.

То есть из анализа, выполненных в ИСО *якобы одновременных* засечек, у релятивистов-ортодоксов следует, что «измеренная длина» l' движущегося стержня меньше его собственной длины l , измеренной в состоянии покоя. Но теперь мы *наглядно видим*, как всё обстоит на самом деле, т.е. *объективно реально*.

Опять же это следует понимать так, что в ИСО выполнено *не измерение* относительной «длины» движущегося стержня, а согласно ПО установлена *форма закона* изменения *протяжённости* твёрдого тела при его *абсолютном* движении.

8. «Парадокс с часами» в СТО и его разрешение

Как известно, наибольшее количество споров при обсуждении различных проблем *ортодоксальной трактовки* СТО было вокруг так называемого «парадокса близнецов», или правильнее всё же его назвать «парадокса с часами». Он потому и называется парадоксом, так как не имеет объяснения в рамках той трактовки СТО, которую ей дал Эйнштейн. Сегодня считается, что он якобы нашёл своё разрешение в ОТО. Однако она не имеет к этому никакого отношения.

Суть «парадокса» в следующем. Если изготовить эталоны в одной СК, а затем передать их в другие системы, то не изменятся ли они при этом? Напомним, что по этому поводу Эйнштейн делает очень важное примечание: «В дальнейшем мы всегда будем неявно предполагать, что факт приведения в движение и остановки линейки, или часов, не изменяет ни длины линейки, ни хода часов» [2, т.1, с.152, примечание 10].

Но здесь удивительным является то, что даже сделав указанное примечание, Эйнштейн не видит полное отсутствие логики в том, что часы при замкнутом цикле движения («туда и обратно») отстанут фактически. Говоря вначале о замедлении хода часов в движущейся СК как об эффекте чисто *кинематическом*, он лишь отмечает, что «положение становится ещё более поразительным», что часы после замкнутого цикла движения должны отставать реально [2, т.1, с.184-185]. Что поразило Эйнштейна? Возникающий парадокс, т.е. отсутствие логики? Нет! Похоже, что это его нигде даже не смущало. Он просто приходит в *восхищение* от таких *необычных* «свойств» в поведении часов. Их ход не изменяется, но они при этом отстают! Разве это не чудо?!

Продолжают восхищаться такими «чудесами» в трактовке теории Эйнштейном и по сей день «избранные богом» (ведь простым смертным этого не понять) сторонники его трактовки. С особым восхищением они излагают всё это в своих книгах, учебниках и справочниках.

На самом же деле вопрос легко решается в рамках СТО, если дать ей правильную трактовку и принципиально правильно понимать ПО инерциального движения. Следует всего лишь ввести в рассмотрение

вопроса АСО. В ней мы и будем рассматривать движение других ИСО, а также отдельно взятых часов.

Так как, согласно правильной трактовке СТО, часы, движущиеся в АСО, *объективно реально* замедляют свой ход в сравнении с такими же часами, покоящимися в АСО, то, совершив замкнутый цикл движения по отношению к последним, первые, естественно, и отстанут. Но теперь мы наглядно покажем, почему в любом случае, как бы ни происходило *собственное* движение различных часов, всегда будут отставать те часы, которые совершат *замкнутый цикл движения* относительно других часов. И никакого парадокса при этом не возникает, как это и должно быть, если теория справедлива и трактуется правильно. Замедление хода часов зависит от их *собственной* (иначе, абсолютной) скорости движения в соответствии с известной в СТО формулой.

В качестве наглядного примера рассмотрим такой случай, рис. 8.1.

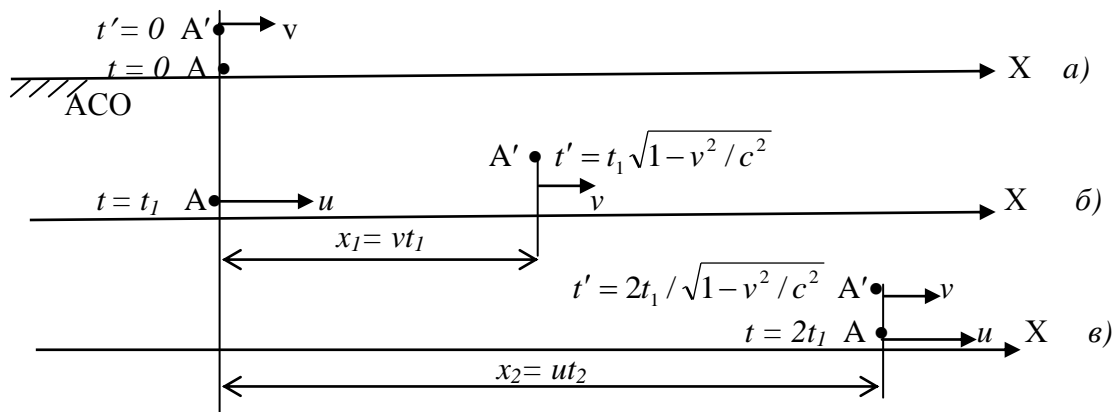


Рис. 8.1. Замкнутый цикл движения часов А относительно часов А': а) момент совпадения в одной точке пространства неподвижных часов А с движущимися со скоростью v часами А'; б) момент, когда часы А запускаются вдогонку за часами А' со скоростью u ; в) момент, когда часы А догоняют часы А', совершив относительно них замкнутый цикл движения.

Возьмём в АСО на её оси x -ов неподвижные часы А. В момент а) мимо них со скоростью v , направленной вдоль оси x -ов, проносятся точно такие же часы А'. Когда они поравняются с часами А, показания обеих часов принимают как нулевые. Через некоторое время t_1 по часам А в АСО, когда часы А' уже находятся на расстоянии $x_1 = vt_1$ от часов А (момент б)), последние запускаются вдогонку за часами А' со скоростью u . Скорость u выбирается такой, чтобы скорость движения часов А по отношению к ИСО, которую можно мысленно связать с

часами A' , снова была бы v . И, когда часы A догоняют часы A' , показания обеих часов сравнивают и находят, что часы A отстали (момент v), так как по отношению к часам A' они совершают замкнутый цикл движения. Покажем наглядно, как это происходит.

Прежде всего, выразим скорость u через скорость v . Для этого воспользуемся формулой СТО «сложения скоростей», которая для нашего случая запишется как $v = \frac{u-v}{1-uv/c^2}$. Здесь, как это обычно и принято, через c обозначена скорость света. Отсюда $u = \frac{2v}{1+v^2/c^2}$. (8.1)

К моменту v), как часы A догонят часы A' , они пройдут в АСО расстояние x_2 . Для этого им понадобится время t_2 (с точки зрения АСО). За это же время часы A' преодолеют расстояние x_2-x_1 . И тогда мы можем записать равенство $\frac{x_2}{u} = \frac{x_2-x_1}{v}$. А с учётом значения скорости u из (8.1) найдём, что $x_2 = \frac{2x_1}{1-v^2/c^2}$. Тогда t_2 можно выразить

$$\text{как } t_2 = \frac{x_2}{u} = \frac{x_2(1+v^2/c^2)}{(1-v^2/c^2)2v} = t_1 \frac{1+v^2/c^2}{1-v^2/c^2}. \quad (8.2)$$

А так как за время t_2 стрелки часов A ушли вперёд на число делений $t_2\sqrt{1-u^2/c^2}$, то к моменту встречи с часами A' , часы A покажут $t = t_1 + t_2\sqrt{1-u^2/c^2}$. Здесь учтено замедление *собственного* хода часов A за время их движения со скоростью u . Подставляя в последнее выражение t_2 из (8.2), получим $t = t_1 + t_1 \frac{(1+v^2/c^2)}{(1-v^2/c^2)}\sqrt{1-u^2/c^2}$. И если учесть значение u из (8.1), то, в конечном счёте, $t = 2t_1$. (8.3)

Часы A' за это же время уйдут вперёд с учётом замедления собственного хода на число делений $t' = (t_1 + t_2)\sqrt{1-v^2/c^2}$. А с учётом t_2 из (2) $t' = \frac{2t_1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$. (8.4)

И отношение между t и t' из (8.3) и (8.4) будет $t = t'\sqrt{1-v^2/c^2}$. То есть мы видим, что часы A отстали от часов A' , так как совершили относительно последних *замкнутый цикл* движения с относительной скоростью v . Но мы должны также обратить внимание и на то, что в первой части относительного движения часов *реально отставали* часы A' , но за вторую часть движения часы A , двигаясь реально с

собственной скоростью u , превышающей скорость v , отстали от часов A' ровно настолько, как если бы они всё время находились относительно часов A' в движении с *относительной* скоростью v .

В чём собственно заключается парадокс? Если следовать формальной логике Эйнштейна, то уже в момент времени, показанный на рис.8.1б, часы A должны были бы тоже отстать от часов A' , так как и они двигались по отношению к часам A' с *относительной* скоростью v . Но ведь *объективно реально* такого не может быть, чтобы часы A' отстали от часов A , а те, в свою очередь, отстали от часов A' .

Далее, в трактовке СТО Эйнштейном считается, что если часы A' вернуть назад в исходное положение (рис.8.1а) с той же скоростью v , то теперь часы можно сверить в одной точке. При этом утверждается, что *реально* снова в том же отношении отстанут именно часы A' , так как они изменяли своё движение, совершая замкнутый цикл. Но ведь снова и те и другие были в *относительном* движении всё с той же скоростью v . А никакое другое движение, кроме *относительного*, в ортодоксальной трактовке теории не признаётся. Налицо явное *логическое противоречие*, которое нисколько не смутило ни самого Эйнштейна, ни его последователей. По сути всё это даже сегодня объясняется загадочными (*мистическими*) «свойствами» пространства и времени, недоступными нашему пониманию.

Из нашей же трактовки реальное отставание часов A' при их возвращении назад к часам A следует само собой. Оно просто и *наглядно* объясняется *собственным* движением часов A' . Но сейчас мы покажем и кое-что ещё.

Вернёмся снова к нашему примеру и свяжем с часами A' уже готовую ИСО, в которой эти часы покоятся. Тогда в момент б) взаимное положение систем отсчёта будет таким, как на рис. 8.2.

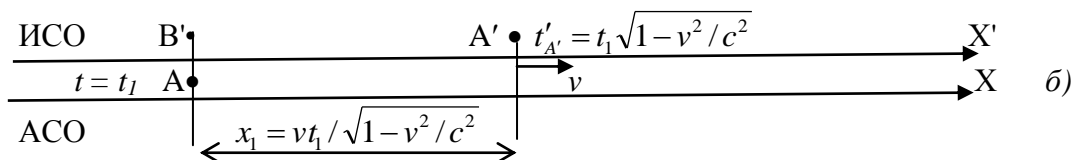


Рис. 8.2. Взаимное положение систем отсчёта в момент б) (рис. 8.1). Против точки A находится точка B' с часами, согласованными по своим показаниям с часами в точке A' . Расстояние x_1 измерено в ИСО.

Так как часы В' находятся сзади точки А' (по ходу движения) на расстоянии $x_1 = vt_1 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ в собственной ИСО, то они по своим показаниям находятся впереди показаний часов А' на число делений равное $\Delta t' = vx_1/c^2$. И тогда в изображённый на рис. 8.2 момент их показания будут

$$t'_{B'} = t'_{A'} + \Delta t' = t_1 \sqrt{1 - v^2/c^2} + (v^2/c^2)t_1 / \sqrt{1 - v^2/c^2} = t_1 / \sqrt{1 - v^2/c^2}, \text{ или} \\ t_1 = t'_{B'} \sqrt{1 - v^2/c^2}. \quad (8.5)$$

Отсюда по логике трактовки СТО Эйнштейном наблюдатели ИСО, находящиеся в этот момент в точке В', вправе сделать вывод об отставании хода часов А от хода часов ИСО. И вроде бы всё правильно. Наблюдатели в ИСО, связанной с часами А, делают свой вполне правомерный вывод о том, что отстали часы А', а наблюдатели в ИСО, связанной с часами А', тоже делают свой якобы тоже правомерный вывод, что отстали часы А. И те и другие якобы правы, потому что якобы таковы «свойства» пространства и времени. И совершенно несовместимые вещи объявляются *объективной относительной физической реальностью*.

Вот тут и кроется непонимание истинного смысла ПО. Что происходит на самом деле (действительно объективно реально) мы могли бы увидеть из реальной АСО. Но так как у нас её реально нет, то мы должны чисто *логическим путём* устранить возникшее противоречие. Мы должны осознать, что где-то допускаем в своих рассуждениях принципиальную ошибку.

Вот тут нам с необходимостью и следует ввести *теоретически мыслимую АСО*, как мы это и сделали. Из неё мы и видим, что и часы в В' реально отстали в своём ходе от часов А. А свой «вывод» из соотношения (8.5) наблюдатели в ИСО могут сделать лишь потому, что уже в начальный момент (рис.8.1а) часы в В' были впереди часов в А' на $\Delta t' = vx_1/c^2$. Поэтому их вывод вовсе не правомерен. В точке В' у них нет замера хода часов ИСО, а есть лишь времени-подобный замер.

Правильный вывод такой. По отношению к любой движущейся ИСО через выполняемые в ней *длинно-подобные и времени-подобные замеры* явления проявляются в той же форме, как если бы она была *реальной АСО*. В этом и заключается *истинный смысл ПО*. Поэтому наблюдатели в ИСО должны сказать следующее: «Мы не знаем истинного соотношения хода часов А и А', А и В'. Но благодаря ПО,

который и проявляется по отношению к нашей ИСО, мы знаем, что если какие-либо часы движутся в реальном физическом пространстве с *собственной* скоростью v , то и *отстают реально* от покоящихся в этом же пространстве часов в соответствии с полученным нами соотношением $\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - v^2/c^2}$, где Δt - интервал времени по покоящимся часам, а $\Delta t'$ - этот же интервал времени по движущимся часам».

Кроме того, так как *объективно реально*, как это и показано в работе, отставание хода всегда проявляется на тех часах, которые *реально* совершат *замкнутый цикл движения* по отношению к другим часам, то это и есть *прямое доказательство их абсолютного, а не только относительного движения*. Часы, совершившие замкнутый цикл движения, будут *всегда* безошибочно указаны из любой другой мыслимой ИСО, так как это *факт абсолютный*. Замкнутый цикл движения сродни вращательному движению, которое тоже является *фактом* присутствия в природе не только относительных, но и *абсолютных* движений.

На этом собственно «парадокс с часами» («парадокс близнецов») рассмотрен самым *наглядным* образом. И в нём нет ничего удивительного и нет никакого противоречия, так как часы при *собственном* движении в реальном физическом пространстве имеют и свой *собственный ход*, зависящий от их *реального собственного* движения. В той трактовке СТО, которую ей дал Эйнштейн, парадокс является следствием отрицания единой мировой среды–эфира и *собственного (абсолютного)* движения различных тел и систем в нём, а также неправильного понимания ПО.

9. Измерение массы движущихся тел из ИСО

Впервые определение того, что есть масса, дал Ньютон. Он определил её как *меру количества материи*. Но материю при этом связывал лишь с веществом, которое лишь механически перемещается в пустом пространстве. Чем больше материи в каком-либо теле, тем оно массивнее, то есть имеет *большую* массу, чем то тело, в котором материи меньше.

Такое представление о массе и материи является чисто натурфилософским, так как оно прямо связано лишь с нашими

обыденными представлениями. И хотя философия ещё со времен Аристотеля пыталась всё же разграничивать понятия материи и вещества, в физике представление о материи, как правило, связывали с веществом вплоть до XX столетия. Достаточно в этой связи вспомнить хотя бы признание академика С.И. Вавилова о том, что он сам часто не разделял в своих работах понятия «материя» и «вещество». И даже сегодня многие физики всё ещё смешивают эти понятия. Во всяком случае, во многих статьях по физике, книгах и учебниках нет чёткого разграничения этих понятий.

Даже после создания Д.К. Максвеллом полевой электромагнитной теории физики продолжали связывать материю обязательно с веществом. Этим объясняется и то, что рассматривая эфир как некоторую материальную мировую среду, они пытались наделить её свойствами некоторого вещества [14].

Эйнштейн также *во всех* своих работах *называет материей вещество*. И даже редакторы собрания его научных трудов, выпущенных издательством «Наука», нигде не сделали никакой оговорки на сей счёт.

В классической механике масса каждого из тел при движении и взаимодействии, как казалось, всегда остаётся постоянной. Но сегодня мы со всей очевидностью должны осознать, что передачу какого-либо количества движения от тела к телу можно осуществить лишь в виде передачи некоторого количества импульса $\Delta P = \Delta mc$, а следовательно, и передачи некоторого количества массы Δm . При этом масса оказывается качественно одной и той же *всегда*, во всём и для всего, что обладает импульсом, а значит и энергией. Нет никакого разделения массы на механическую и электромагнитную.

Итак, в общем случае, если тело абсолютно неподвижно в пространстве, то оно имеет, как нечто внешне единое и устойчивое, только внутренний импульс $P_{\text{внутр}} = m_0 c$ и его масса покоя равна m_0 . Если это тело при взаимодействии, скажем, с другим телом получает от него некоторый импульс, в результате которого изменяется лишь внешнее абсолютное движение рассматриваемого тела, то его полная масса возрастает до некоторого значения m и полный импульс становится равным $P_{\text{полн}} = mc$. В то же время, внешний импульс,

связанный с абсолютным *перемещением* тела в пространстве, равен $P_{\text{внешн}} = mv$, где v - скорость абсолютного движения тела в пространстве. Указанные импульсы всегда связаны между собой соотношением

$$P_{\text{полн.}}^2 = P_{\text{внутр.}}^2 + P_{\text{внешн.}}^2, \text{ или } (mc)^2 = (m_0c)^2 + (mv)^2. \text{ Откуда } m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}},$$

что и было показано в п. 2 (с. 19-20).

Последнее выражение показывает, как *реально* изменяется масса тела при его *собственном* (абсолютном) движении в пространстве.

Покажем, что точно такую же зависимость массы от скорости получают и наблюдатели в любой движущейся ИСО. Только уже при этом v будет скоростью тела *относительно* этой ИСО. Для начала рассмотрим случай, когда наблюдатели в ИСО измеряют массу тела, покоящегося в АСО.

Допустим, что в движущейся ИСО покоится тело А, имеющее массу покоя m_{0A} . Так как это тело вместе с ИСО движется в АСО со скоростью v , то его объективно реальная масса будет $m_A = \frac{m_{0A}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$.

Но так как все тела рассматриваемой ИСО движутся с одной и той же скоростью v относительно АСО и их масса изменилась в равной мере объективно реально, то для наблюдателей в ИСО масса тела А по-прежнему равна m_{0A} . То есть они *считают* её таковой.

Допустим далее, что в АСО покоится другое тело В с массой покоя m_{0B} . Это тело для наблюдателей в ИСО представляется движущимся со скоростью v параллельно их оси x' . Поэтому обозначим скорость его движения в ИСО v'_{xB} .

Сообщим телу А некоторую небольшую скорость относительно ИСО так, чтобы она была параллельна оси y' . Обозначим эту скорость v'_{yA} . При этом тело А приобрело в ИСО импульс $P'_{yA} = m_{0A}v'_{yA}$. Данная ситуация показана на рис. 9.1.

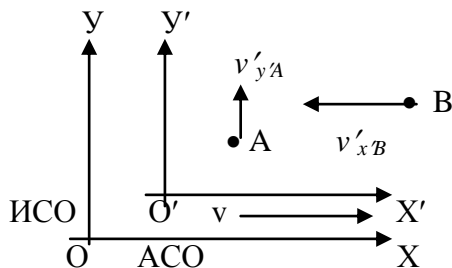


Рис. 9.1. Сближение тел А и В перед столкновением. Ситуация показана с точки зрения ИСО.

Скорость v_{yA} тела А в АСО при этом будет $v_{yA} = v'_{y'A} \sqrt{1 - v^2/c^2}$, так как $\Delta y' = \Delta y$, а $\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - v^2/c^2}$. Тогда импульс P_{yA} тела А в АСО будет $P_{yA} = m_A v_{yA} = \frac{m_{0A}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} v_{yA} = m_{0A} v'_{y'A} = P'_{y'A}$. То есть будет таким же, как и в ИСО.

Здесь мы в связи с тем, что скорость v_{yA} несоизмеримо меньше скорости v , пренебрегаем тем, что абсолютная скорость тела А как-то фактически изменилась.

Допустим далее, что тела А и В при своём дальнейшем движении сталкиваются абсолютно упруго так, что тело А полностью передаёт свой импульс P_{yA} телу В, не изменяя при этом его импульс, параллельный оси x' . Тогда тело В приобретёт в АСО скорость v_{yB} ,

$$\text{равную } v_{yB} = \frac{P_{yA}}{m_{0B}} = \frac{P'_{y'A}}{m_{0B}}. \quad (9.1)$$

В ИСО эта скорость будет оценена следующим образом.

За некоторое время после столкновения с телом А тело В пройдёт параллельно оси x' расстояние $\Delta x'$, а вдоль оси y' - расстояние $\Delta y'$. При этом время, прошедшее в ИСО, будет оценено как $\Delta t = \Delta x'/v$.

В АСО тело В будет двигаться только вдоль оси y и за это же время пройдёт расстояние $\Delta y = \Delta y'$, а тело А вместе с ИСО уйдёт вдоль оси x на расстояние $\Delta x = \Delta x' \sqrt{1 - v^2/c^2}$ (рис. 9.2). Следовательно, абсолютное время движения тела В после столкновения с телом А будет $\Delta t = \Delta x/v = \Delta t' \sqrt{1 - v^2/c^2}$.

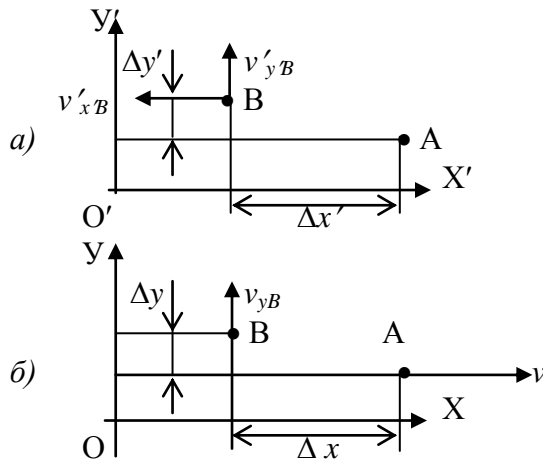


Рис. 9.2. Движение тел А и В после столкновения: а) с точки зрения ИСО; б) с точки зрения АСО.

Отсюда скорость v'_{yB} найдём как $v'_{yB} = \Delta y' / \Delta t' = v_{yB} \sqrt{1 - v^2 / c^2}$. Или, подставляя значение v_{yB} из (9.1), получим, что $v'_{yB} = \frac{P'_{y'A}}{m_{0B}} \sqrt{1 - v^2 / c^2}$.

Откуда масса тела В в ИСО будет оценена как $m'_B = \frac{P'_{y'A}}{v'_{yB}} = \frac{P'_{y'A} m_{0B}}{P'_{y'A} \sqrt{1 - v^2 / c^2}} = \frac{m_{0B}}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}$. Что мы и хотели показать.

Теперь рассмотрим более общий случай, когда оценивается масса движущегося в АСО тела из движущейся ИСО. То есть все условия рассмотрения те же, что и в предыдущем случае, только тело В уже не покоится, а движется в АСО, причём так, что у него по-прежнему скорость движения в ИСО будет v'_{xB} , но она теперь не равна v , а, допустим, больше последней. Тогда ситуация до столкновения тел А и В в точности совпадает с той, что показана на рис. 9.1. Всё рассмотрение аналогично предыдущему, но следует учесть, что полная масса тела В равна $m_B = \frac{m_{0B}}{\sqrt{1 - v_{xB}^2 / c^2}}$, где v_{xB} - скорость

движения тела в АСО. Тогда, после столкновения с телом А, тело В приобретет в АСО скорость $v_{yB} = \frac{P_{yA}}{m_A} = \frac{P'_{y'A}}{m_{0B} \sqrt{1 - v^2 / c^2}}$. (9.2)

В ИСО эта скорость будет оценена следующим образом.

За некоторое время после столкновения с телом А тело В пройдёт параллельно оси x' расстояние $\Delta x'$, а вдоль оси y' - расстояние $\Delta y'$. При этом промежуток времени после столкновения в ИСО будет оценен как $\Delta t' = \Delta x' / v'_{xB}$. (9.3)

В АСО тело В после столкновения пройдёт вдоль оси y расстояние Δy . Следовательно, здесь этот же промежуток времени составит $\Delta t = \Delta y / v_{yB}$. Или, подставляя сюда значение v_{yB} из (9.2), получим, что

$$\Delta t = \frac{\Delta y}{P'_{y'A}} \frac{m_{0B}}{\sqrt{1 - v_{xB}^2 / c^2}}. \quad (9.4)$$

Так как в АСО тела А и В движутся относительно друг друга параллельно оси x со скоростью $v + v_{xB}$, то к рассматриваемому моменту времени они будут отстоять друг от друга вдоль оси x на расстоянии $\Delta x = (v + v_{xB}) \Delta t$. Подставляя сюда значение Δt из (9.4), получим, что $\Delta x = \frac{\Delta y m_{0B} (v + v_{xB})}{P'_{y'A} \sqrt{1 - v_{xB}^2 / c^2}}$. (9.5)

Так как $\Delta x' = \frac{\Delta x}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$, а $v'_{x'B} = \frac{v+v_{xB}}{1+vv_{xB}/c^2}$ (по правилу «сложения скоростей» в СТО) то, возвращаясь к формуле (9.3) для $\Delta t'$, выразим этот промежуток времени как $\Delta t' = \frac{\Delta x}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \cdot \frac{(1+vv_{xB}/c^2)}{(v+v_{xB})}$, а с учётом формулы (9.4) $\Delta t' = \frac{\Delta y m_{0B} (1+vv_{xB}/c^2)}{P'_{y'A} \sqrt{1-v^2/c^2} \sqrt{1-v_{xB}^2/c^2}}$.

Но так как $\frac{\sqrt{1-v^2/c^2} \cdot \sqrt{1-v_{xB}^2/c^2}}{1+vv_{xB}/c^2} = \sqrt{1-v_{x'B}^2/c^2}$, то в конечном счёте $\Delta t' = \frac{\Delta y m_{0B}}{P'_{y'A} \sqrt{1-v_{x'B}^2/c^2}}$. Тогда с учётом того, что $\Delta y' = \Delta y$, скорость $v'_{y'B}$

определится как $v'_{y'B} = \frac{\Delta y'}{\Delta t'} = \frac{P'_{y'A}}{m_{0B}} \sqrt{1-v_{x'B}^2/c^2}$. А отсюда масса тела В в ИСО будет оценена как и в предыдущем случае:

$$m'_B = \frac{P'_{y'A}}{v'_{y'B}} = \frac{P'_{y'A} m_{0B}}{P'_{y'A} \sqrt{1-v^2/c^2}} = \frac{m_{0B}}{\sqrt{1-v^2/c^2}}.$$

То есть мы видим, что соотношение, полученное между массой покоя и полной массой при движении в АСО, *одинаково по форме* и во всех ИСО.

В тех случаях, когда взаимодействующие тела объективно реально почти не изменяют свою массу покоя, количество массы, связанное с их внешним движением (внешним импульсом), остаётся во взаимодействиях практически постоянным. Поэтому при расчётах, связанных с взаимодействиями, удобно оперировать не только с импульсами, которые являются величинами векторными и складываются и вычитаются геометрически. При решении многих практических задач удобнее оперировать с некоторой скалярной величиной, зависящей от массы покоя тел и их внешней скорости движения. Эта величина называется кинетической энергией, так как связана с внешним движением (перемещением) тел. Покажем, что эта величина определяется именно массой, связанной с внешним движением, а поэтому назовём эту массу *кинетической* (в отличие от массы покоя).

Если полная масса тела при движении равна m , а его масса покоя равна m_0 , то кинетическая масса определится как

$$m_k = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}} - m_0 \approx m_0(1+v^2/2c^2) - m_0 = \frac{m_0 v^2}{2c^2}.$$

Пользоваться такой величиной было бы крайне не удобно, так как отношение v^2/c^2 обычно ничтожно мало. Поэтому на практике пользуются величиной в c^2 раз большей, то есть $E_k = m_k c^2 = m_0 v^2/2$, которую, как мы знаем, называют *кинетической энергией*. И по аналогии полной массе приписывают полную энергию $E = m c^2$, а массе покоя - энергию покоя $E_0 = m_0 c^2$.

Но, как мы знаем, в физике широко применяется ещё и понятие потенциальной энергии, которое в современной трактовке теории относительности и вообще во всей современной физике не имеет до конца ясного смысла. На это неоднократно указывали многие известные учёные (см., например, [12]).

Рассмотрим и это понятие, для чего обратимся к простейшему из атомов - атому водорода.

Атом водорода состоит из одного протона и одного электрона. Они находятся во взаимосвязанном состоянии и, как известно, масса покоя атома меньше суммы масс покоя протона и электрона, взятых отдельно. Меньше на величину массы Δm , пропорциональную, как говорят, энергии связи $E_{св}$ атома, то есть $\Delta m = E_{св}/c^2$.

Энергия связи считается величиной отрицательной. Поэтому, чем сильнее электрон связан с протоном, то есть, чем больше абсолютное значение энергии связи атома, тем меньше его масса покоя.

Когда свободный электрон при движении захватывается протоном и образуется атом, часть энергии электрона излучается. Излучаемая энергия - это и есть энергия связи.

Как установил еще в 1913г. датский физик Н. Бор, атом излучает тогда, когда электрон в своём движении вокруг ядра переходит скачком из одного уровня движения (орбиты) на другой, более приближённый к ядру. При этом скорость движения электрона возрастает. Возрастает и его кинетическая энергия. Но ведь атом при этом ещё и излучает часть энергии, а значит, и массы. Откуда же берётся дополнительная кинетическая энергия электрона и связанная с ней масса да ещё энергия и масса фотона?

Считается, что возрастание кинетической энергии электрона и излучение атома происходят за счёт уменьшения потенциальной энергии взаимодействия отрицательно заряженного электрона с

положительно заряженным ядром. Причём, когда электрон и ядро не взаимосвязаны, то есть практически не взаимодействуют, их потенциальная энергия равна нулю. Когда они находятся в связанном состоянии, то есть образуют атом, их потенциальная энергия отрицательна.

Возникает вопрос: что же такое потенциальная энергия? Какое движение связано с ней? Где находится она и связанная с ней масса? И как энергия может быть отрицательной? Ведь понятие энергии неразрывно связано с понятием импульса и без последнего объективно реально не существует. Но что тогда значит отрицательный импульс и, очевидно, отрицательное, связанное с ним движение?

На все эти вопросы современная физика практически не даёт ответов.

Если считать, что потенциальная энергия - это энергия электромагнитного поля взаимодействующих электрона и ядра, то она должна иметь определённое значение (а не быть равной нулю) и тогда, когда электрон и ядро не взаимодействуют.

По мнению автора, вопрос имеет следующее решение. Причём оно подсказывается явлением аннигиляции электрон - позитронных пар.

Что в сущности при этом происходит?

Когда электрон и позитрон электромагнитно взаимодействуя сближаются, их потенциальная энергия взаимодействия, равная вначале нулю, а затем, как считается, отрицательная, переходит в их кинетическую энергию. Переход этот длится до тех пор, пока электрон с позитроном не сольются вместе и не превратятся в фотоны. Разлетающиеся фотоны имеют лишь энергию внешнего движения, то есть кинетическую.

Фотоны с кинетической энергией и кинетической массой разлетелись, а куда делась отрицательная потенциальная энергия? И что произошло с внутренней энергией покоя частиц, которую они имели до взаимодействия? Можно сказать, что так как за счёт потенциальной энергии взаимодействия разлетающиеся фотоны получили кинетическую энергию, а общая сумма энергии частиц до взаимодействия и после взаимодействия сохранилась, то и весь вопрос на этом исчерпан.

Но нет. электрон и позитрон до взаимодействия имели каждый энергию покоя, связанную с их массой покоя. После аннигиляции электрона и позитрона разлетающиеся фотоны имеют точно такую же, но уже кинетическую энергию и связанную с ней кинетическую массу. Следовательно, в процессе взаимодействия и аннигиляции электрон - позитронной пары внутренняя энергия (энергия покоя) взаимодействующих электрона и позитрона перешла во внешнюю, то есть кинетическую, энергию образовавшихся фотонов. Причём этот переход внутренней энергии во внешнюю происходит с момента начала взаимодействия электрона с позитроном вплоть до их аннигиляции и превращения в фотоны.

Таким образом, можно сделать следующие чрезвычайно важные выводы:

1. Внутренняя энергия, то есть энергия покоя, взаимодействующих частиц - это и есть их потенциальная кинетическая энергия, которая в процессе полевого взаимодействия может частично или полностью переходить в кинетическую энергию взаимодействующих или вновь образованных в результате взаимодействия частиц.

2. Так как при потенциальном, то есть полевым, взаимодействии часть внутренней энергии частиц переходит во внешнюю, то есть кинетическую энергию, то масса покоя взаимодействующих частиц изменяется в соответствии с равенством

$$m_0 = \frac{m'_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}},$$

где: m_0 - масса покоя свободной, не взаимодействующей частицы;

m'_0 - масса покоя частицы в процессе взаимодействия;

v - скорость, приобретённая частицей в результате взаимодействия.

Здесь с целью наиболее чёткого раскрытия именно рассматриваемого вопроса приведенная формула записана для случая частиц, скорость которых до взаимодействия равна нулю.

3. Само потенциальное поле не обладает ни активной энергией, ни инерционной массой, а лишь управляет поведением, как отдельных частиц, так и поведением их совокупностей (телами). Никакой отрицательной потенциальной энергии не существует. Энергия всегда положительна.

4. Если снова вернуться к закону Ньютона о равенстве действия и противодействия, то при полевым взаимодействии частиц (и тел) этот

закон нужно относить к каждой частице (телу) отдельно. Действие при этом есть изменение внешнего импульса, а противодействие - изменение внутреннего импульса частицы (тела). И закон никак не нарушается.

Но вернёмся снова к атому водорода.

Когда электрон захватывается протоном и образуется атом, часть энергии покоя электрона переходит в его кинетическую энергию движения вокруг ядра, а часть излучается в виде фотона. Масса покоя электрона при этом уменьшается на величину кинетической массы, приобретённой как самим электроном, так и излученным фотоном. То есть *масса покоя* элементарной частицы (её локализованная масса) *не является постоянной*, вопреки тому, как это принято считать сегодня. Электрон излучает именно за счёт массы покоя.

Энергия излучённых фотонов - это и есть энергия связи образовавшегося атома. Теперь электрон не сможет уйти от ядра и снова стать свободным, пока ему не вернуть излученный импульс и связанную с ним массу. Если атом излучает вновь, то это означает, что ещё часть внутренней энергии электрона (локализованной энергии) частично перешла в его кинетическую энергию, а частично в энергию вновь излученного фотона. Электрон переходит при этом на более близкий к ядру уровень движения и связь его с ядром возрастает, а локализованная масса уменьшается ещё больше. Причём, как показывает расчёт, электрон при каждом акте излучения приобретает дополнительную кинетическую массу (за счёт локализованной массы), *равную* массе излучённого фотона (действие равно противодействию).

Чем отличается взаимодействие электрон - протонной пары от электрон - позитронного взаимодействия? Электрон - позитронное взаимодействие обладает полной симметрией в силу того, что заряды и массы покоя взаимодействующих частиц равны. При взаимодействии электрона с протоном в связи с большим различием их масс покоя симметрия взаимодействия резко нарушается. Так как масса покоя протона почти в две тысячи раз больше массы электрона, последний получает при взаимодействии значительно большую скорость внешнего движения и намного больше, чем протон увеличивает свою кинетическую массу за счёт локализованной массы, а также излучает при этом фотоны.

К вопросу излучения атомом фотонов мы ещё вернёмся ниже, но раньше рассмотрим, как преобразуются в СТО силы.

10. Преобразование сил

Согласно Ньютону сила есть действие, в результате которого изменяется внешний импульс тела. Причём численно сила равна скорости изменения импульса тела, т.е. $\vec{F} = d\vec{p}/dt$. В то же время, внешний импульс тела с массой покоя m_0 равен $\vec{P} = \frac{m_0\vec{v}}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$. (10.1)

При малых скоростях $v \ll c$ последнее выражение переходит в классическое $\vec{P} = m_0\vec{v}$. (10.2)

Если свободное, т.е. предоставленное самому себе, тело неподвижно в пространстве, то его внешний импульс равен нулю. Если приложить к нему силу F , то оно станет двигаться с ускорением dv/dt и в начальный момент своего движения с большой точностью будет подчиняться закону Ньютона, согласно которому

$$F = \frac{dp}{dt} = m_0 \frac{dv}{dt}, \quad (10.3)$$

так как в этом случае $dp = m_0 dv$. Но по мере возрастания скорости тела, а следовательно, и внешнего импульса, его движение всё больше и больше будет отклоняться от закона Ньютона.

Действующая на движущееся тело сила в общем случае может изменять скорость его движения, как по величине, так и по направлению. Но в двух крайних случаях скорость тела изменяется или только по величине, или только по направлению. При этом в классической механике во всех случаях тело в своём движении подчиняется закону, выраженному формулой (10.3), так как его масса считается неизменной. В релятивистской же механике два крайних случая действия силы различаются. Это непосредственно вытекает из уравнений (10.1) и (10.2).

Если сила действует на движущееся тело по направлению его скорости (обозначим её $F_{||}$) и изменяет лишь её величину, уравнение (10.1) с учётом (10.2) можно записать как

$$F_{||} = \frac{dp_{||}}{dt} = m_0 \frac{d}{dt} \left(\frac{v}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \right) = \frac{m_0}{(1-v^2/c^2)^{3/2}} \cdot \frac{dv}{dt}. \quad (10.4)$$

А дифференциал внешнего импульса при этом запишется как

$$dp_{\parallel} = \frac{m_0}{(1-v^2/c^2)^{3/2}} dv. \quad (10.4a)$$

Если же сила действует на движущееся тело строго по нормали к направлению скорости его движения (обозначим её F_{\perp}) и изменяет лишь направление скорости, уравнение движения будет

$$F_{\perp} = \frac{dp_{\perp}}{dt} = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \cdot \frac{dv}{dt}, \quad (10.5)$$

так как скорость движения v постоянна по величине.

Если сила F направлена под некоторым другим углом к направлению движения, её следует разложить на две составляющие F_{\parallel} и F_{\perp} и рассмотреть движение тела под действием каждой из них. Найденные ускорения от этих составляющих складываются по правилу сложения векторов, что и даёт результирующее ускорение движения тела под действием приложенной силы.

Из уравнений (10.4) и (10.5) видно, что правило Ньютона, согласно которому численное значение силы, приложенной к телу, определяется как произведение массы тела на полученное телом ускорение, в общем случае не выполняется. При продольном действии силы (выражение (10.4)) появляется дополнительный множитель $1/(1-v^2/c^2)$, в связи с чем величину $m_0/(1-v^2/c^2)^{3/2}$ стали называть продольной массой тела. А величину $m_0/\sqrt{1-v^2/c^2}$ назвали поперечной массой тела. Такое название *в принципе не оправданно*, так как объективно реально масса тела при его абсолютном движении увеличивается единственным и вполне определённым образом и численно совпадает с тем значением массы, которое названо поперечным.

Пожалуй, здесь будет правильнее ввести понятие *коэффициента инертности массы*, который при поперечном действии силы равен единице, а при продольном ее действии равен $1/(1-v^2/c^2)$. Этот коэффициент как раз и характеризует сопротивляемость массы изменению состояния её движения, т.е. фактически и характеризует её свойство инертности. И если в классической физике свойство инертности массы было неизменным, как бы ни от чего не зависящим врождённым свойством массы, то теперь мы видим, что это свойство проявляется по-разному при разном действии силы. Инертность присуща массе, но зависит от состояния движения этой массы и от

того, как изменяется это состояние. Зависимость инертности массы от скорости есть прямое следствие предельности в природе скорости света и того факта, что любой массе присущ общий импульс mc .

После этих предварительных замечаний рассмотрим вопрос о преобразовании численного значения величины силы при переходе от одной ИСО к другой.

Вначале рассмотрим случай, когда свободное тело с массой покоя m_0 неподвижно в АСО. Тогда в ИСО, движущейся в пространстве с абсолютной скоростью v в направлении своей оси x' -ов, оно будет восприниматься движущимся со скоростью v , противоположно направлению оси x' -ов.

Приложим к телу в АСО силу F_x , направленную параллельно скорости движения ИСО. Тогда тело придёт в движение и за каждый сколь угодно малый промежуток времени Δt будет приращивать в АСО скорость на Δv_x . Причём нас интересует действие силы на неподвижное в абсолютном пространстве тело, или движущееся с очень малой скоростью. Поэтому мы можем ограничиться начальным промежутком времени Δt и начальным приращением скорости Δv_x . Тогда начальное приращение внешнего импульса будет $\Delta p_x = m_0 \Delta v_x$, или, если перейти к дифференциалам, $dp_x = m_0 dv_x$. (10.6)

Пусть для определённости (это не имеет принципиального значения) Δv_x по направлению совпадает с направлением скорости v . Тогда в ИСО скорость тела несколько уменьшится и в соответствии с правилом «сложения скоростей» будет $v' = \frac{v - \Delta v_x}{1 - v\Delta v_x/c^2}$. То есть скорость

изменится на $\Delta v'_x = v - v' = \Delta v_x \frac{1 - v^2/c^2}{1 - v\Delta v_x/c^2}$. Или, переходя от малых конечных приращений к дифференциалам, а также с учётом того, что Δv_x очень мало, можем записать, что $dv'_x = dv(1 - v^2/c^2)$. (10.7)

В соответствии с (10.4a) дифференциал внешнего импульса в ИСО будет $dp'_x = \frac{m_0}{(1 - v^2/c^2)^{3/2}} \cdot dv'_x$. Подставляя в это уравнение dv'_x из (10.7),

получим, что $dp'_x = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} dv'_x$, а с учётом (10.6) $dp'_x = \frac{dp_x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$. (10.8)

Так как с точки зрения наблюдателей в ИСО время в АСО течёт замедленно, промежутку времени Δt в ИСО будет соответствовать

промежуток времени $\Delta t' = \Delta t / \sqrt{1 - v^2/c^2}$. Или, снова переходя к дифференциалам, $dt' = dt / \sqrt{1 - v^2/c^2}$. (10.9)

Тогда из уравнений (10.8) и (10.9) получим, что $\frac{dp'_x}{dt'} = \frac{dp_x}{dt}$, или

$$F'_\parallel = F_\parallel. \quad (10.10)$$

Если приложить к свободному и неподвижному в АСО телу силу F_y , направленную по нормали к направлению скорости \mathbf{v} и параллельно оси y' ИСО, то начальное приращение внешнего импульса Δp_y , соответствующее начальному приращению скорости Δv_y за начальный сколь угодно малый промежуток времени Δt , определится как $\Delta p_y = m_0 \Delta v_y$. Или в дифференциальной форме

$$dp_y = m_0 dv_y. \quad (10.11)$$

Если тело приобретает в АСО некоторую незначительную скорость \mathbf{v}_y , то в ИСО скорость v'_y будет

$$v'_y = \frac{dy'}{dt'} = \frac{dy}{dt} \sqrt{1 - v^2/c^2} = v_y \sqrt{1 - v^2/c^2}. \quad (10.12)$$

Здесь мы использовали соотношение (10.9) и тот факт, что $dy' = dy$ (последний, в свою очередь, следует из того, что $\Delta y' = \Delta y$).

Дифференцируя (10.12) при постоянном значении скорости v , получим, что $dv'_y = dv_y \sqrt{1 - v^2/c^2}$. (10.13)

А из равенства (10.5) $dp'_y = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \cdot dv'_y$. Подставляя в это уравнение dv'_y из (10.13) с учётом (10.11), получим, что

$$dp'_y = dp_y. \quad (10.14)$$

Тогда с учётом (10.9) $\frac{dp'_y}{dt'} = \frac{dp_y}{dt} \sqrt{1 - v^2/c^2}$, или $F'_\perp = F_\perp \sqrt{1 - v^2/c^2}$. (10.15)

Далее рассмотрим случай, когда свободное тело с массой покоя m_0 неподвижно в ИСО. То есть тело движется в АСО вместе с ИСО со скоростью v . Если теперь приложить к телу в ИСО силу F_x , параллельную скорости \mathbf{v} движения ИСО, и повторить в точности все те же рассуждения, что и выше в случае массы, неподвижной в АСО, то на этот раз получим, что $dp_x = \frac{dp'_x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ и $dt = dt' / \sqrt{1 - v^2/c^2}$. Тогда

$$\frac{dp_x}{dt} = \frac{dp'_x}{dt'} \quad \text{и} \quad F'_\parallel = F_\parallel. \quad (10.16).$$

Если приложить к телу силу F'_y , то получим, что $dp_y = dp'_y$ и $\frac{dp_y}{dt} = \frac{dp'_y}{dt'} \sqrt{1-v^2/c^2}$, или $F_{\perp} = F'_{\perp} \sqrt{1-v^2/c^2}$. (10.17)

И, наконец, рассмотрим более общий случай, когда свободное тело с массой покоя m_0 движется в ИСО со скоростью v' вдоль оси X' , а сама ИСО, как и прежде, движется в АСО со скоростью v также вдоль своей оси X' .

Приложим к телу в АСО силу F_x вдоль скорости его движения. Тогда тело начнёт ускоряться, его внешний импульс p_x будет возрастать, и в соответствии с уравнением (10.4a) можем записать, что $dp_x = \frac{m_0}{(1-v^2/c^2)^{3/2}} \cdot du$, (10.18)

где u – скорость движения тела в АСО. Эта скорость в соответствии с правилом «сложения скоростей» в СТО будет $u = \frac{v+v'}{1+vv'/c^2}$. (10.19)

Дифференцируя последнее равенство при постоянной скорости v , найдём, что $du = dv' \frac{1-v^2/c^2}{(1+vv'/c^2)^2}$. (10.20)

С возрастанием p_x возрастает и внешний импульс p'_x тела в ИСО. А уравнение (10.4a) в ИСО примет вид $dp'_x = \frac{m_0}{(1-(v')^2/c^2)^{3/2}} dv'$. (10.21)

Если тело движется в ИСО со скоростью v' , то за бесконечно малый промежуток времени $\Delta t'$ оно пройдет в ИСО расстояние

$$\Delta x' = v' \Delta t'. \quad (10.22)$$

Это расстояние из АСО будет измерено как $\Delta x = \Delta x' \sqrt{1-v^2/c^2}$. (10.23)

А так как для наблюдателей из АСО скорость тела относительно ИСО равна $u-v$, то время его движения вдоль отрезка Δx будет

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{u-v}. \quad (10.24)$$

А используя равенства (10.19), (10.22), (10.23) и (10.24), найдём, что $\Delta t' = \Delta t \cdot \frac{1-uv/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$. Или, переходя к дифференциалам,

$$dt' = dt \cdot \frac{1-uv/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}. \quad (10.25)$$

Из равенства (10.18) следует, что $\frac{dp_x}{dt} = \frac{m_0}{(1-u^2/c^2)^{3/2}} \cdot \frac{du}{dt}$. Подставляя в это уравнение значение du из (10.20) и значение dt из (10.25),

получим, что
$$\frac{dp_x}{dt} = \frac{m_0}{(1-u^2/c^2)^{3/2}} \cdot \frac{(1-v^2/c^2)}{(1+vv'/c^2)^2} \cdot \frac{(1-uv/c^2)}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \cdot \frac{dv'}{dt}.$$
 Далее, подставляя в полученное выражение значение dv' из (10.19) и проведя ряд преобразований, с учётом равенства (10.17) в конечном виде получим, что $\frac{dp_x}{dt} = \frac{dp'_x}{dt'}$, или $F_{\parallel} = F'_{\parallel}$. (10.26)

Если приложить к телу в АСО силу F_y , нормальную к направлению скорости его движения, то в соответствии с равенством (10.5) для АСО получим, что
$$dp_y = \frac{m_0}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \cdot du_y,$$
 (10.27)

где p_y - импульс тела, появившийся в результате действия силы F_y , а u_y - некоторая незначительная по величине скорость тела, приобретённая им в результате действия силы F_y .

Для ИСО в соответствии с равенством (10.5) запишем, что

$$dp'_y = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v')^2/c^2}} \cdot dv'_y, \quad (10.28)$$

где p'_y и v'_y - импульс тела и его скорость в ИСО в результате действия силы F'_y .

Так как $dy' = dy$, то с учетом (10.21) скорость v'_y тела в ИСО можно выразить как $v'_y = \frac{dy'}{dt'} = \frac{dy}{dt} \cdot \frac{\sqrt{1-v^2/c^2}}{1-uv/c^2} = v_y \cdot \frac{\sqrt{1-v^2/c^2}}{1-uv/c^2}$. А дифференцируя данное равенство при постоянных v и u , получим, что

$$dv'_y = dv_y \cdot \frac{\sqrt{1-v^2/c^2}}{1-uv/c^2}. \quad (10.29)$$

Тогда, используя равенства (10.25), (10.27), (10.28) и (10.29), можем записать после некоторых преобразований:

$$\frac{dp_y}{dt} = \frac{m_0}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \cdot \frac{(1-uv/c^2)^2}{(1-v^2/c^2)} \cdot \frac{\sqrt{1-(v')^2/c^2}}{m_0} \cdot \frac{dp'_y}{dt'}. \quad \text{А подставляя в}$$

последнее равенство значение u из (10.17) и тоже после ряда алгебраических преобразований, получим, что

$$\frac{dp_y}{dt} = \frac{dp'_y}{dt'} \cdot \frac{\sqrt{1-v^2/c^2}}{1+vv'/c^2}, \quad (10.30)$$

$$\text{или } F_{\perp} = F'_{\perp} \cdot \frac{\sqrt{1-v^2/c^2}}{1+vv'/c^2}. \quad (10.31)$$

Если в равенство (10.30) подставить значение v' из (10.19), то в конечном виде получим $\frac{dp_y}{dt} = \frac{dp'_y}{dt'} \cdot \frac{(1-uv/c^2)}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$, или

$$F_{\perp} = F'_{\perp} \cdot \frac{(1-uv/c^2)}{\sqrt{1-v^2/c^2}}. \quad (10.32)$$

А подстановка в равенство (10.30) значения v из (10.19) даёт $\frac{dp_y}{dt} = \frac{dp'_y}{dt'} \cdot \frac{\sqrt{1-u^2/c^2}}{\sqrt{1-(v')^2/c^2}}$, или $F_{\perp} = F'_{\perp} \cdot \frac{\sqrt{1-u^2/c^2}}{\sqrt{1-(v')^2/c^2}}$. (10.33)

Сравнивая формулы (10.10), (10.14) и (10.26), можно сделать заключение, что продольная (параллельная направлению движения) составляющая силы, действующей на тело, имеет одинаковое численное значение, как в любой ИСО, так и в АСО, если направления скоростей движения тела и ИСО в пространстве самом по себе параллельны. Что же касается формулы (10.15) для поперечной составляющей силы, то она вытекает из формул (10.32) и (10.33). Действительно, если в последних принять, что $u=0$ (тело в АСО неподвижно), то из (10.32) получим выражение (10.15), а из (10.33) получим $F'_{\perp} = F_{\perp} \sqrt{1-(v')^2/c^2}$.

Так как тело в АСО неподвижно, а в ИСО движется со скоростью v' , то, следовательно, и сама ИСО движется в АСО со скоростью v' и полученное выражение соответствует формуле (10.15). Аналогично можно показать, что формула (10.17) вытекает из формул (10.31) или (10.33), если в последних положить, что $v'=0$ (тело движется в АСО и неподвижно в ИСО, а $u=v$). Здесь ещё следует добавить, что если v и v' не совпадают по направлению, то формула (10.19) запишется как $u = \frac{v-v'}{1-vv'/c^2}$ при $v > v'$, или как $u = \frac{v'-v}{1-vv'/c^2}$ при $v < v'$. Соответственно

$$\text{формула (10.31) запишется как } F_{\perp} = F'_{\perp} \frac{\sqrt{1-v^2/c^2}}{1-vv'/c^2}, \quad (10.31a)$$

$$\text{а формула (10.32) – как } F_{\perp} = F'_{\perp} \frac{1+uv/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}. \quad (10.32a)$$

Используя полученные выше формулы для преобразования поперечной силы, рассмотрим как в последнем разобранным нами случае преобразуется сила при переходе от собственной ИСО тела (обозначим её при настоящем рассмотрении ИСО2), движущейся в ИСО со скоростью u , к ИСО, движущейся в АСО со скоростью v

(обозначим её ИСО1). Обозначим также поперечную силу в ИСО2 как F_{\perp}'' , а в ИСО1 как F_{\perp}' . В АСО обозначение прежнее F_{\perp} .

Из формулы (10.17) или из формулы (10.33) для данного случая следует, что $F_{\perp} = F_{\perp}' \sqrt{1 - u^2/c^2}$. (10.34)

Тогда, подставляя полученное значение F_{\perp} в формулу (10.32), получим, что $F_{\perp}'' \sqrt{1 - u^2/c^2} = F_{\perp}' \frac{1 - uv/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$, или, после замены u по формуле (10.19) и простых алгебраических преобразований,

$$F_{\perp}' = F_{\perp}'' \sqrt{1 - (v')^2/c^2}. \quad (10.35)$$

Сравнивая равенства (10.34) и (10.35), видим, что поперечная сила, действующая на тело, преобразуется от собственной ИСО тела к любой другой ИСО точно так же, как и к АСО, т.е. через *относительную* скорость движения.

Формулы (10.26), (10.31), (10.32) и (10.33) позволяют получить численное значение как угодно действующей на тело силы при переходе от любой одной ИСО к любой другой ИСО. То есть ИСО могут двигаться в пространстве по отношению друг к другу с любыми как угодно направленными скоростями. При этом, если известна сила в одной ИСО, то при переходе к другой она раскладывается на продольную и поперечную составляющие по отношению к этой другой ИСО и вначале преобразуется каждая из них, а затем находится результирующее значение.

11. Измерение и преобразование электромагнитных полей

Напомним, что неподвижный в пространстве заряд q создаёт вокруг себя только электрическое поле, изменяющееся по закону

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\vec{r}}{r^3}, \quad (11.1)$$

где: \vec{E} - напряжённость электрического поля;

ϵ_0 - диэлектрическая постоянная вакуума;

r – расстояние от заряда до точки поля (заряд считается точечным);

направление радиус-вектора \vec{r} для положительного q направлено от заряда, а для отрицательного q – к заряду.

Если поместить в такое поле некоторый пробный заряд q_0 , то со стороны поля на него будет действовать сила $\vec{F} = q_0 \vec{E}$. Эта сила действует по прямой, соединяющей оба заряда, а направлена так, что одноимённые заряды отталкиваются друг от друга, а разноимённые – притягиваются друг к другу.

Если заряд движется в пространстве, то его электрическое поле изменяется, а также появляется магнитное поле, которое вместе с электрическим и образует электромагнитное поле движущегося заряда. Поля, движущегося в пространстве заряда, находятся из уравнений Максвелла для вакуума, которые в векторной форме можно записать как:

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \vec{E} &= \frac{\rho}{\varepsilon_0}; & \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0; & c^2 \nabla \times \vec{B} &= \vec{j} + \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}; \end{aligned}$$

где: ρ - плотность электрического заряда;

\vec{B} - магнитная индукция поля;

\vec{j} – плотность электрического тока сквозь замкнутый контур;

∇ - некоторый векторный оператор «набла».

$$\text{Решение этих уравнений имеет вид: } \vec{E} = -\nabla \varphi - \partial \vec{A} / \partial t \quad (11.2)$$

$$\text{и } \vec{B} = \nabla \times \vec{A}, \quad (11.3)$$

где: φ и \vec{A} - скалярный и векторный потенциалы электромагнитного поля.

Полученные решения обязаны удовлетворять уравнениям:

$$\nabla^2 \varphi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}; \quad (11.4)$$

$$\nabla^2 \vec{A} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} = -\frac{\vec{j}}{\varepsilon_0 c^2}; \quad (11.5)$$

$$\text{а также условию } \nabla \cdot \vec{A} = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial \rho}{\partial t}. \quad (11.6)$$

Если во всех точках известна плотность зарядов $\rho(x, y, z, t)$ и плотность тока $\vec{j}(x, y, z, t)$, то решения уравнений (11.4) и (11.5), удовлетворяющие условию (11.6), запишутся как:

$$\varphi(x_1, y_1, z_1, t) = \int \frac{\rho(x_2, y_2, z_2, t - r_{12}/c)}{4\pi\varepsilon_0 r_{12}} dV_2;$$

$$\bar{A}(x_1, y_1, z_1, t) = \int \frac{\bar{j}(x_2, y_2, z_2, t - r_{12}/c)}{4\pi\epsilon_0 c^2 r_{12}} dV_2;$$

где: r_{12} – расстояние от точки с координатами x_1, y_1, z_1 , в которой находятся потенциалы поля, до точки с координатами x_2, y_2, z_2 , в которой имеются заряды с плотностью ρ и токи с плотностью \bar{j} ; dV_2 – дифференциал объёма в точке 2.

Тогда поля \bar{E} и \bar{B} находятся дифференцированием потенциалов и подстановкой их в уравнения (11.2) и (11.3).

Для точечного заряда, движущегося с произвольной скоростью,

$$\varphi(t) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r'(1 - v_r/c)_{зан.}}, \text{ или } \varphi(x_1, y_1, z_1, t) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 (r - \vec{v} \cdot \vec{r}/c)_{зан.}},$$

$$а \quad \bar{A}(x_1, y_1, z_1, t) = \frac{q\vec{v}/c^2}{4\pi\epsilon_0 (r - \vec{v} \cdot \vec{r}/c)_{зан.}}.$$

Это известные так называемые запаздывающие потенциалы Льенара-Вихерта. Используя данные потенциалы, Лоренц получил для заряда, движущегося с постоянной скоростью \mathbf{v} вдоль оси x ,

$$\varphi(x, y, z, t) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \frac{1}{\left[\frac{(x - vt)^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} + y^2 + z^2 \right]^{1/2}}$$

$$\text{и } \bar{A} = \frac{\vec{v}}{c^2} \varphi.$$

При этом в момент времени $t=0$ положение заряда совпадает с началом координат системы отсчёта.

Продифференцировав данные потенциалы и подставив полученные значения в уравнения (11.2) и (11.3), получим, что

$$E_x = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}} \frac{(x - vt)}{\left[\frac{(x - vt)^2}{1 - v^2/c^2} + y^2 + z^2 \right]^{3/2}} \quad (a);$$

$$E_y = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}} \frac{y}{\left[\frac{(x - vt)^2}{1 - v^2/c^2} + y^2 + z^2 \right]^{3/2}} \quad (б); \quad (11.7)$$

$$E_z = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}} \frac{z}{\left[\frac{(x - vt)^2}{1 - v^2/c^2} + y^2 + z^2 \right]^{3/2}} \quad (в);$$

$$\bar{B} = \frac{\vec{v}}{c^2} \times \bar{E} \quad (11.8), \text{ или } B_x = 0 \quad (11.8a); B_y = -\frac{v}{c^2} E_z \quad (11.8б); B_z = \frac{v}{c^2} E_y \quad (11.8в).$$

Если рассмотреть поле электрической напряжённости в какой-либо плоскости, проходящей через направление скорости \mathbf{v} , например, в плоскости ХОУ, то её значение по модулю можно выразить как

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{(1 - v^2/c^2)}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2} \sin^2 \alpha\right)^{3/2}}, \quad (11.9)$$

где: α – угол между направлением движения заряда и радиус-вектором \vec{r} , проведенным из точки мгновенного положения заряда в точку наблюдения.

Рассмотрим теперь вопрос об измерении поля неподвижного в АСО заряда из движущейся ИСО. Если скорость ИСО равна \mathbf{v} и направлена параллельно её оси x' , то и заряд в ИСО движется с той же скоростью, а следовательно, его поле \vec{E}' в плоскости Х'О'У' должно иметь вид в соответствии с формулой (11.9). Мы покажем, что это действительно так, измеряя поле в наиболее характерных точках. Поле измеряется с помощью определения сил, действующих на пробные электрические заряды.

Пусть заряд q движется относительно ИСО вправо параллельно её оси X' (значит, сама ИСО движется влево относительно АСО). Когда он проходит через заранее намеченную точку A' , на расстоянии r' от неё (r' определено в ИСО) параллельно осям x' и y' одновременно (с точки зрения ИСО) измеряют создаваемую зарядом напряжённость.

То есть замеры проводят в точках 1, 2, 3 и 4, как показано на рис. 11.1, в тот момент, когда движущийся заряд находится в точке A' . Причём, в силу симметрии замеры напряжённости в точках 1 и 3, а также в точках 2 и 4 должны дать один и тот же результат. Для точек 2 и 4 это ясно сразу, а для точек 1 и 3 это нужно будет показать.

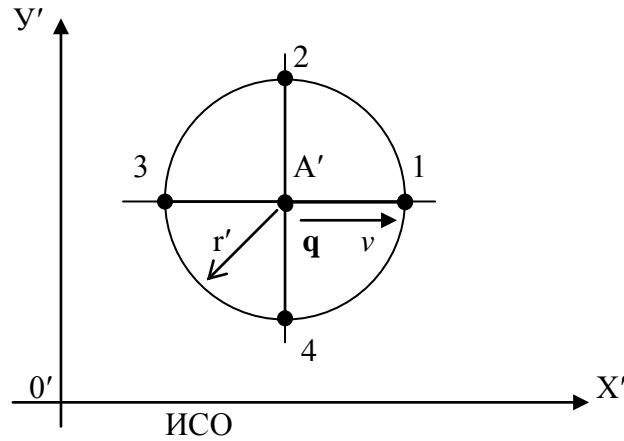


Рис. 11.1. Измерение в точках 1, 2, 3 и 4 электромагнитного поля заряда q , движущегося в ИСО с постоянной скоростью v . Заряд объективно реально неподвижен в АСО, которая здесь не показана.

Допустим, что по часам в ИСО заряд оказался в точке A' в момент времени t' . Следовательно, в этот же момент нужно выполнять и все замеры в указанных точках.

Так как объективно реально ИСО движется влево со скоростью v , то объективно реально часы в точке 1 «спешат», а в точке 3 «отстают» от часов в точке A' . И в момент времени t' по часам в A' часы в точке 1 покажут время $t' + r'v/c^2$, а в точке 3 – время $t' - r'v/c^2$. Часы в точках 2 и 4 покажут то же время, что и часы в A' . Значит, реально в момент времени t' замеры поля делают лишь в точках 2 и 4.

Объективно реальная напряжённость электрического поля в точках 2 и 4 по модулю в соответствии с формулой (11.1) будет

$$E_{2,4} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r'^2},$$

так как для точек 2 и 4 расстояние от точки A' равно r' и в ИСО, и в АСО. С другой стороны, измерения силы, направленной по нормали к направлению скорости v , в ИСО и в АСО связаны соотношением

$$F'_\perp = F_\perp \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

Тогда измерения напряжённости электрического поля в точках 2 и 4 в ИСО по модулю дадут

$$E'_{2,4} = \frac{E_{2,4}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r'^2} \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

Это значение соответствует тому, которое мы получим по формуле (11.4б), если учесть, что для аналогичного случая в АСО $x=0$ и $z=0$. Или можно сравнить данный результат с тем, что мы получим по формуле (11.9) при значении $\alpha = \pi/2$.

В точке 1 напряжённость E'_1 фактически измеряют тогда, когда в точке A' часы показывают время $t' - r'v/c^2$, а часы в 1 при этом показывают время t' . Тогда фактически точка 1 отстоит от заряда на расстоянии r_1 , рис. 11.2.

Это расстояние можно определить как $r_1 = r'\sqrt{1-v^2/c^2} + v\Delta t$, (11.10) где Δt - время в АСО, необходимое для того, чтобы точка A' достигла заряда.

За время Δt часы в ИСО уйдут вперёд на $\Delta t' = r'v/c^2$. А так как $\Delta t = \Delta t'/\sqrt{1-v^2/c^2}$, то, подставляя это значение в (11.10), получим:

$$r_1 = r'\sqrt{1-v^2/c^2} + \frac{r'v^2}{c^2} \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = \frac{r'}{\sqrt{1-v^2/c^2}}.$$

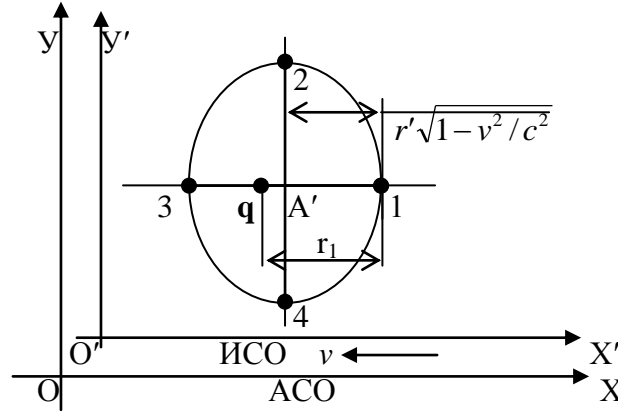


Рис. 11.2. Так выглядит в АСО измерение поля, проводимое в ИСО в её точке 1. Измерение выполняется, когда точка A' движущейся ИСО фактически ещё не дошла до заряда.

Следовательно, значение напряжённости электрического поля в точке 1 в момент замера будет $E_1 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_1^2} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r'^2} (1-v^2/c^2)$. И таким же

будет значение E'_1 в точке 1 и в ИСО, так как $F'_\parallel = F_\parallel$. То есть

$$E'_1 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r'^2} (1-v^2/c^2).$$

В точке 3 электрическую напряжённость E'_3 в ИСО измеряют фактически тогда, когда в точке A' часы показывают время $t' + r'v/c^2$. Часы в 3 при этом показывают время t' , а точка 3 отстоит от заряда на расстоянии r_3 , которое равно r_1 . Поэтому $E'_3 = E'_1$ и измеренное в ИСО поле, как и следовало ожидать, обладает центральной симметрией относительно заряда. И в общем виде формула для напряжённости E' в любой точке поля, отстоящей от заряда на расстоянии r' , будет

иметь вид $E' = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r'^2} \frac{(1-v^2/c^2)}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2} \sin^2 \alpha'\right)^{3/2}}$, где α' - угол между направлением

движения заряда и радиус-вектором \vec{r}' , измеренный в ИСО. Направление E' также радиально от мгновенного (с точки зрения ИСО) положения заряда для положительных зарядов и к мгновенному положению заряда для отрицательных зарядов.

Таким образом, электрическое поле неподвижного в АСО заряда в движущейся ИСО воспринимается точно таким же, каким является электрическое поле движущегося в пространстве заряда. Но движущийся в пространстве заряд создаёт и магнитное поле с магнитной индукцией \vec{B} , изменяющейся в пространстве вокруг заряда при постоянной скорости последнего по закону в соответствии с выражением (11.8). Покажем, что несмотря на то, что вокруг неподвижного в пространстве заряда магнитного поля нет, наблюдатели в ИСО такое поле обнаружат. Причём оно для них также будет подчиняться тому же закону, что и при движении заряда в АСО.

Напомним, что магнитное поле действует только на движущийся заряд (назовём его пробным и обозначим q_0) с силой

$$\vec{F}_M = q_0 \vec{v}' \times \vec{B}, \quad (11.11),$$

где v' - скорость движения пробного заряда в магнитном поле. Сила \vec{F}_M направлена по нормали к направлению скорости v' , т. е. она только поворачивает вектор v' . Из (11.8а) видно, что магнитная индукция поля на линии движения заряда равна нулю, так как векторы \vec{v} и \vec{E} находятся на одной прямой. Следовательно, и сила $\vec{F}'_{M1,3}$ в ИСО в точках 1 и 3 на рис. 11.1 также равна нулю.

Магнитное поле $\vec{B}'_{2,4}$ в точках 2 и 4 с учётом (11.8,в) и (11.7,б) по модулю должно быть равно $B'_{2,4} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r'^2} \frac{v/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ (11.12)

и направлено для положительного q по часовой стрелке, если смотреть по направлению движения заряда, а для отрицательного q направлено против часовой стрелки. Тогда сила $\vec{F}'_{M2,4}$ в точках 2 и 4 с

учётом (11.11) и (11.12), если v' параллельна v , должна быть по модулю равна $F'_{M2,4} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r'^2} \frac{vv'/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ (11.13)

и для одноимённых зарядов направлена к заряду q . Убедимся, что такая сила в точках 2 и 4 для наблюдателя в ИСО существует. Для этого воспользуемся формулой (10.31a) из раздела о преобразовании сил.

Действительно, если в АСО в точках 2 и 4 сила взаимодействия между неподвижным q и q_0 , движущимся со скоростью $u = \frac{v' - v}{1 - vv'/c^2}$,

по модулю равна $F_{\perp} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r^2}$, то в ИСО в соответствии с формулой

$$(10.31a) \text{ сила будет } F'_{\perp} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r'^2} \frac{(1 - vv'/c^2)}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \quad (11.14)$$

Выше мы уже установили, что в точках 2 и 4 существует электрическое поле, действующее как на неподвижный, так и на движущийся пробный заряд q_0 с силой

$$F'_{эл2,4} = q_0 E'_{2,4} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r'^2} \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \quad (11.15)$$

Тогда, вычитая из суммарной силы (11.14) силу (11.15) получим силу магнитного взаимодействия $F'_{M2,4} = F'_{\perp} - F'_{эл2,4} = -\frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r'^2} \frac{vv'/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$.

Знак «минус» показывает, что полученная сила по направлению противоположна электрической и в данном случае является силой притяжения (хотя заряды одноимённые).

Как видим, полученное выражение для силы $F'_{M2,4}$ по модулю в точности совпадает с выражением (11.13), и наблюдатели в ИСО считают эту силу магнитной, так как она действует только на движущийся в их системе заряд точно таким же образом, как и реальная магнитная сила действует на объективно реально движущийся в пространстве заряд. Поэтому они считают, что в точках 2 и 4 существует магнитное поле с напряжённостью, которая из выражения (11.11) по модулю определится как

$$B'_{2,4} = \frac{|F'_{M2,4}|}{q_0 v'/c} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r'^2} \frac{v/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \text{ То есть, как мы и говорили выше,}$$

магнитное поле в точках 2 и 4 соответствует выражению (11.12), а в целом оно соответствует формуле (11.8).

Далее рассмотрим измерение поля движущегося в пространстве заряда в «собственной» ИСО. Измерение снова проводим с помощью пробных зарядов q_0 того же знака, что и заряд q . Снова определяем

силу взаимодействия между зарядами в разных точках вокруг заряда и по величине силы определяем величину поля. Допустим, что замеры осуществляются в точках 1, 2, 3 и 4, как показано на рис. 11.3 (с точки зрения АСО). ИСО вместе с неподвижным в ней зарядом q движется в АСО со скоростью v .

Так как поля \vec{E} и \vec{B} обладают центральной симметрией относительно заряда q , мы сразу можем сказать, что замеры в точках 1 и 3, а также в точках 2 и 4 дадут одинаковые результаты. В точках 1 и 3 в АСО между зарядами действует только электрическая сила отталкивания, так как заряды одинакового знака. Её величину найдём как $\vec{F}_{1,3} = q_0 \vec{E}_{1,3}$, где $\vec{E}_{1,3}$ - напряжённость электрического поля, создаваемого зарядом q в точках 1 и 3 (с точки зрения АСО).

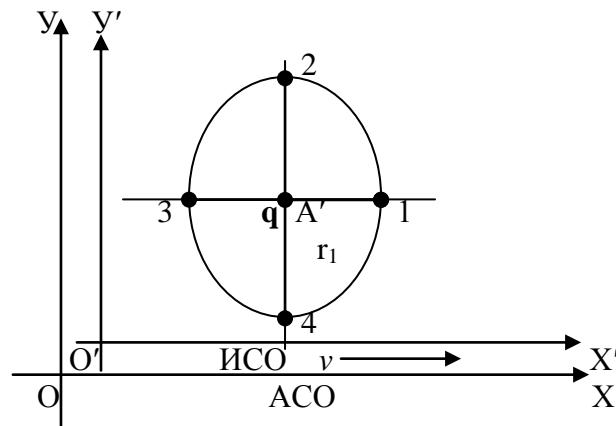


Рис. 11.3. Измерение электромагнитного поля в точках 1, 2, 3 и 4 с точки зрения АСО.

Из выражения (11.7a) или (11.9) для точек 1 и 3 ($\alpha_1 = 0^\circ$ и $\alpha_3 = 180^\circ$) получим, что $E_{1,3} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} (1 - v^2/c^2)$. В то же время для точек 1 и 3

$$r = r' \sqrt{1 - v^2/c^2} \text{ и тогда сила взаимодействия будет } F_{1,3} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r'^2}.$$

Такой же результат будет получен и в ИСО, так как $F'_\parallel = F_\parallel$. И электрическое поле в точках 1 и 3 в ИСО будет измерено как

$$E_{1,3} = \frac{F'_{1,3}}{q_0} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r'^2}.$$

В точках 2 и 4 в АСО между зарядами действуют по соединяющей их прямой электрическая сила отталкивания и магнитная сила притяжения. Электрическая сила при этом равна $\vec{F}_{эл.2,4} = q_0 \vec{E}_{2,4}$, где $\vec{E}_{2,4}$ -

напряжённость электрического поля, создаваемого зарядом q в точках 2 и 4.

Из выражения (11.7б) или (11.9) для точек 2 и 4 ($\alpha_2 = 90^\circ$ и $\alpha_4 = 270^\circ$) получим, что

$$E_{2,4} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}. \quad (11.16)$$

А так как для точек 2 и 4 $r = r'$, то сила электрического взаимодействия будет $F_{э12,4} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r'^2} \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$.

Магнитная сила притяжения в точках 2 и 4 в соответствии с (11.11) и (11.12) будет

$$F_{M2,4} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r'^2} \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \frac{v^2}{c^2}.$$

Тогда суммарная сила взаимодействия между зарядами в точках 2 и 4 составит $F_{2,4} = F_{э12,4} - F_{M2,4} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r'^2} \sqrt{1-v^2/c^2}$. А так как для данного случая $F'_\perp = F_\perp \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$, то суммарная сила взаимодействия между

зарядами с точки зрения ИСО будет $F'_{2,4} = F_{2,4} \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r'^2}$.

Заряды q и q_0 в ИСО неподвижны и суммарная сила их взаимодействия в точках 2 и 4 будет воспринята как сила электрического взаимодействия, и напряжённость электрического поля в этих точках определится как $E'_{2,4} = \frac{F'_{2,4}}{q_0} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r'^2}$.

Итак, электрическое поле в ИСО в точках 2 и 4 точно такое же, как и в точках 1 и 3. И мы можем сделать общее заключение, что для наблюдателей в «собственной» ИСО заряда его электрическое поле представляется сферически симметричным, то есть точно таким же, каким является электрическое поле неподвижного заряда в АСО. Магнитное поле для наблюдателей в ИСО у заряда отсутствует.

Покажем, что и на движущийся в ИСО пробный заряд со стороны неподвижного заряда будет действовать та же электрическая сила, а магнитной силы не будет. Для этого пробному заряду, скажем, в точке 2 ИСО сообщим скорость v' в направлении скорости v . Тогда в АСО это будет скорость $u = \frac{v+v'}{1+vv'/c^2}$ и суммарная действующая со стороны q на q_0 сила по формуле Лоренца составит $\vec{F}_2 = q_0(\vec{E}_2 + \vec{u} \times \vec{B}_2)$. Или,

подставляя сюда значения \vec{E}_2 из (11.16) и \vec{B}_2 из (11.12) с учётом того, что $r = r'$, и проведя элементарные алгебраические упрощения, получим, что в АСО

$$F_2 = q_0 \left(\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} - \frac{uv}{c^2} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \right) = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{(1-uv/c^2)}{\sqrt{1-v^2/c^2}}.$$

Зная действующую в АСО силу и используя формулу (10.32), в соответствии с которой $F_{\perp} = F'_{\perp} \cdot \frac{(1-uv/c^2)}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$, найдём, что действующая в

ИСО сила будет $F'_2 = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r'^2}$. И убеждаемся, что для наблюдателей в

ИСО со стороны неподвижного заряда, как на неподвижный, так и на движущийся заряд, действует только сила электрического взаимодействия. Магнитное поле в «собственной» ИСО заряда не обнаруживается. И мы видим, что описание электромагнитных явлений изначально имеет *инвариантную форму* по отношению к ПЛ.

12. Излучение и поглощение фотонов неподвижным в АСО атомом

Как мы уже говорили выше, любое тело с массой покоя m_0 имеет и внутреннюю энергию $m_0 c^2$, а следовательно, и некоторый внутренний импульс $m_0 c$. Теперь же, после изменения трактовки СТО, мы должны осознать, что эту массу *условного* покоя и этот внутренний импульс тело имеет, будучи *покоящимся чисто внешне* именно в реальном пространстве. То есть, будучи в целом неподвижным в АСО, любое тело в то же время сохраняет и некоторое интенсивное внутреннее движение. Но можно сказать и так, что тело обладает *потенциальной кинетической* энергией. Но с целью упрощения будем говорить, что тело обладает просто потенциальной энергией. Причём, оно обладает этой энергией независимо от места своего нахождения, сохраняя её в себе.

И если в классической физике потенциальная энергия и кинетическая были совершенно разными формами энергии, хотя и могли переходить друг в друга, то теперь мы должны совершенно чётко осознать, что в основе *всех* форм энергии лежит кинетическая энергия. Тепловая, химическая, электромагнитная и другие виды энергии – это всего лишь проявление разных *форм* кинетической энергии, которая изначально *только таковой* и является. И никакой

отрицательной формы энергии принципиально быть просто не может, так как все формы энергии связаны только с движением. И только в каком-либо конкретном расчёте можно лишь *чисто условно* принять некоторый нулевой уровень энергии рассматриваемой физической системы, относительно которого можно опять же лишь *чисто условно* ввести расчётное значение отрицательной энергии.

Мы знаем также, что кванты электромагнитного поля – фотоны, не имея массы покоя, так как существуют лишь в движении со скоростью c , имеют некоторую массу m и импульс mc , а также энергию mc^2 . И говорить, что фотоны являются безмассовыми частицами тоже принципиально не верно, так как их масса точно такая же, как и у частиц с массой покоя. Масса фотона зависит от его частоты. Будем говорить, что фотон обладает лишь внешней кинетической энергией, или просто кинетической энергией. И если иногда говорят и пишут, что фотоны – это проявление энергии в чистом виде, то при этом нужно иметь в виду, что это и есть проявление как бы исходной, или первичной кинетической энергии. Другим проявлением аналогичной формы энергии являются все виды нейтрино. Но ещё раз хочу напомнить, и это следует иметь в виду, что *всегда* исходным, прежде всего, является импульс mc , а энергия есть уже нечто производное от импульса, удобное нам для наших расчётов. С помощью понятия энергии мы значительно упрощаем и свои измерения, и свои расчёты, так как заменяем векторные величины скалярными.

Из теории элементарных частиц сегодня также хорошо известно, что при взаимодействии частиц одни из них могут исчезать, а вместо них появляются новые частицы. Из фотонов рождаются электрон-позитронные пары, а при аннигиляции последних вновь рождаются фотоны. Причём во всех этих взаимодействиях сохраняются масса, импульс, а следовательно, и энергия, а также ряд других величин. Всё это, вместе взятое, и даёт основание считать, что масса любой элементарной частицы, а также любого другого физического тела качественно одна и та же. Кроме того, эта физическая характеристика, которую мы называем массой, *всегда* сохраняет в АСО в той или иной форме своё движение со скоростью c , а следовательно, обладает импульсом mc . Если масса *в целом* покоится в АСО, её движение с импульсом m_0c некоторым образом локализовано в пространстве. Оно как бы внутренне и внешне уравновешено (самоорганизовано). Чтобы

масса покоя стала двигаться в АСО с некоторой скоростью v , она должна получить некоторый внешне неуравновешенный импульс.

Выше мы уже говорили также, что никакой другой *передачи* импульса, кроме как в виде Δmv в природе не существует. То есть *импульс без массы не передаётся*.

Если при взаимодействии с другими телами масса покоя какого-либо тела не изменяется, но тело, вначале находившееся в покое в АСО, начинает двигаться с некоторой скоростью v , то это означает, что при взаимодействии оно получило некоторый внешний импульс Δmv и его масса *возросла*. При этом его общая масса стала $m = m_0 + \Delta m$, а общий импульс стал mv . Кроме того, всегда выполняется соотношение

$$(m_0 c)^2 + (mv)^2 = (mc)^2. \quad (12.1)$$

Соотношение (12.1) выполняется для каждого тела, имеющего массу покоя, при его взаимодействии с другими телами *без изменения массы покоя*. Взаимодействие без изменения массы покоя может происходить, например, когда тела непосредственно сталкиваются между собой, обмениваются кинетической энергией, а значит, и массой, и тут же расходятся в пространстве. Но таким же может быть взаимодействие и между частицами, например, между свободными электронами и фотонами. Но нужно учесть также, что масса покоя при взаимодействиях может изменяться, а соотношение (12.1) для каждого участника взаимодействия после взаимодействия остаётся верным всегда.

Взаимодействие тел и частиц с изменением их массы покоя всегда происходит через их физические поля (прежде всего, электромагнитное и гравитационное). При полевого взаимодействия, происходящем на расстоянии, *всегда* изменяется масса покоя самих взаимодействующих объектов, частично или полностью переходя в их внешний импульс, или наоборот, когда внешний импульс переходит в массу покоя. И всё это для каждого участника взаимодействия происходит в соответствии с соотношением (12.1).

Выше в качестве примера полевого взаимодействия с изменением массы покоя мы уже называли электромагнитное взаимодействие электрона и позитрона вплоть до их аннигиляции. Когда взаимодействуя они сближаются, то скорость каждого из них возрастает за счёт перехода внутренней потенциальной кинетической энергии во внешнюю кинетическую энергию. При этом масса покоя

каждой частицы непрерывно уменьшается. Заключительным актом такого взаимодействия является полный переход массы покоя обеих частиц в образующиеся при этом гамма кванты с их уже внешней кинетической энергией.

При обратном процессе рождения электрон-позитронной пары из гамма кванта электронная и позитронная массы покоя образуются из массы внешнего импульса кванта. Соотношение (12.1) выполняется и для образовавшегося электрона, и для позитрона.

Таким образом, уже здесь мы видим, что никакой отрицательной потенциальной энергии не существует. Энергия всегда положительна и принципиально является кинетической, так как всегда связана с импульсом mc . А физические объекты с массой покоя способны потенцировать её в себе и в общем случае имеют как потенциальную, так и кинетическую энергию.

Формула (12.1) показывает, что сложение внутреннего и внешнего импульсов у элементарной частицы происходит геометрически, а внутренний локализованный импульс лежит в плоскости, перпендикулярной направлению скорости внешнего движения, рис. 12.1. То, что показано на рисунке, можно назвать полной импульсной диаграммой элементарной частицы при её движении в АСО, хотя чисто внешне она имеет лишь импульс mv .

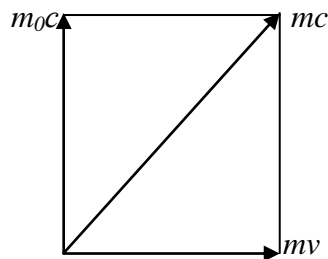


Рис. 12.1. Полная импульсная диаграмма элементарной частицы при её движении в АСО.

У электрона, как и у всех других частиц с массой покоя, внутренний импульс m_0c связан с его спином. И теперь понятно, что спин электрона может либо совпадать с направлением внешней скорости, либо иметь противоположное направление. Правда, само понятие направления спина чисто условное.

Из формулы (12.1) сразу же следует известное из СТО выражение

для массы движения частицы или тела:
$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} .$$

Из неё также следует формула Дирака для энергии свободной релятивистской частицы. Если все члены в формуле (12.1) умножить на c^2 , то сразу получим: $E^2 = c^2 p^2 + m_o^2 c^4$, где: E – полная энергия частицы, а p – её внешний импульс.

Теперь рассмотрим вопрос излучения фотона атомом, покоящимся в АСО.

Допустим, что атом имеет массу покоя m_o и излучает фотон с массой $\Delta m'$ за счёт потери части своей массы покоя Δm_o . Но так как фотон зарождаясь взаимодействует с породившим его атомом, сообщая ему некоторую скорость v , то при этом теряется и некоторая доля его массы и импульса. Его импульс становится Δmc . Импульсные диаграммы результата процесса излучения показаны на рис. 12.2.

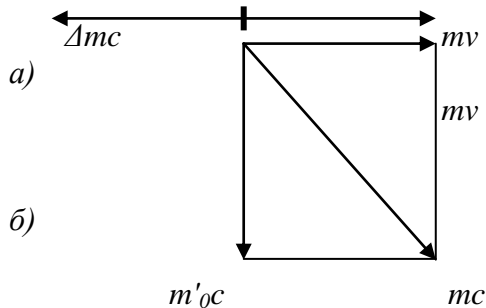


Рис. 12.2. Импульсные диаграммы результата процесса излучения атомом, покоящимся в АСО: а) внешняя импульсная диаграмма излучения; б) полная импульсная диаграмма атома после излучения.

По этому процессу мы можем записать следующие равенства:

масса покоя атома после излучения	$m'_o = m_o - \Delta m_o$;
полная масса атома после излучения	$m = m_o - \Delta m$;
внешний импульс атома после излучения	$mv = \Delta mc$;
соотношение (12.1) для атома после излучения	$(m'_o c)^2 + (mv)^2 = (mc)^2$.

Подставляя все значения в последнее уравнение и разрешив его относительно массы излучаемого фотона, получим:

$$\Delta m = \Delta m_o (1 - \Delta m_o / 2m_o).$$

Как известно, масса фотона и частота его волнового процесса связаны уравнением $\Delta mc^2 = h\nu$, (12.2) где h – постоянная Планка. Тогда для частоты излучённого фотона ν будем иметь: $\nu = \nu_o (1 - \Delta m_o / 2m_o)$, где ν_o – частота фотона, если считать, что масса излучающего атома бесконечно велика в сравнении с массой излучённого фотона.

Итак, мы видим, что не весь высвобождающийся при излучении внутренний импульс передаётся фотону. Часть его переходит во внешний импульс излучившего атома. Но так как практически во всех случаях излучения атомов $\Delta m_0 \ll m_0$, во внешний импульс излучившего атома переходит ничтожно малая часть высвободившегося внутреннего импульса. Поэтому будем считать, что неподвижный в АСО атом излучает фотон с частотой ν_0 . Назовём эту частоту *собственной* частотой излучения неподвижного в АСО источника.

Поглощение фотона неподвижным в АСО атомом происходит аналогично процессу излучения, но в обратном порядке. Фотон с массой Δm при его поглощении атомом передаёт последнему весь свой импульс Δmc . Атом в АСО приобретает скорость v . При этом масса фотона переходит главным образом в массу покоя атома, увеличивая последнюю. Но часть её за счёт своего импульса и сообщает атому скорость v . И в этом процессе выполняются законы сохранения массы, внешнего и полного импульсов, а также соотношение (12.1) для поглотившего фотон атома. В этом случае мы можем записать следующие равенства:

масса покоя атома после поглощения фотона $m'_0 = m_0 + \Delta m_0$, где

Δm_0 - часть массы фотона, перешедшая в массу покоя атома;

полная масса атома после поглощения фотона $m = m_0 + \Delta m$;

закон сохранения внешнего импульса $mv = \Delta mc$;

соотношение (12.1) для данного случая $(m'_0 c)^2 + (mv)^2 = (mc)^2$.

Подставляя все значения в последнее уравнение и разрешив его относительно массы, перешедшей в массу покоя атома, с учётом того,

что $\Delta m_0 \cong \Delta m$, получим:
$$\Delta m_0 = \frac{\Delta m}{1 + \Delta m/2m_0}.$$

13. Излучение атомом при движении, замедление хода часов в движущейся ИСО и эффект Доплера

Теперь мы подготовлены к тому, чтобы рассмотреть излучение фотона атомом, движущимся в АСО со скоростью v . Но раньше мы должны показать, что излучение атомом всегда происходит за счёт его массы покоя. Докажем это.

Действительно, атом, движущийся в АСО, имеет кроме потенциальной кинетической энергии ещё и чисто внешнюю

кинетическую энергию, за счёт которой он и имеет свой внешний импульс mv . Но этот импульс вместе с соответствующим количеством массы полностью или частично атом способен терять только при прямых взаимодействиях с другими телами. Если допустить, что атом способен излучать за счёт этой массы самопроизвольно, то тогда должна быть возможна следующая ситуация, условно изображённая на рис. 13.1.

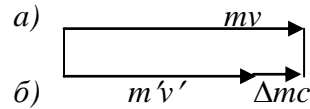


Рис. 13.1. Внешний импульс атома до (а) и после (б) излучения, а также импульс фотона.

Для изображённого случая мы можем записать следующие

$$\text{равенства: } m = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}, \quad (13.1)$$

$$m' = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v')^2/c^2}}, \quad (13.2)$$

$$\Delta m = m - m', \quad (13.3)$$

$$mv = m'v' + \Delta mc. \quad (13.4)$$

Тогда из (13.4) следует, что $\Delta m = \frac{mv - m'v'}{c}$. А подставляя сюда m из

$$(13.3), \text{ получим } \Delta m = \frac{m'v + \Delta mv - m'v'}{c}. \text{ Откуда } \Delta m = m' \frac{v - v'}{c - v}. \quad (13.5)$$

Подставляя (13.1), (13.2) и (13.3) в (13.5), можно записать, что

$$\frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}} - \frac{m_0}{\sqrt{1-(v')^2/c^2}} = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v')^2/c^2}} \left(\frac{v - v'}{c - v} \right),$$

или упрощая $\frac{\sqrt{1-(v')^2/c^2}}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = \frac{c - v'}{c - v}$.

Дальнейшая цепочка преобразований такая. После возведения

левой и правой частей в квадрат $\frac{c^2 - v'^2}{c^2 - v^2} = \frac{(c - v')^2}{(c - v)^2}$, или

$$\frac{(c - v')(c + v')}{(c - v)(c + v)} = \frac{(c - v')^2}{(c - v)^2}, \text{ или } \frac{c + v'}{c + v} = \frac{c - v'}{c - v}, \text{ или}$$

$$c^2 + cv' - cv - vv' = c^2 - cv' + cv - vv', \text{ или } 2cv' = 2cv. \text{ Откуда } v' = v.$$

И тогда $m' = m$, а $\Delta m = 0$. Это и означает, что излучения за счёт внешней кинетической энергии не происходит.

Теперь мы можем вернуться к рассмотрению вопроса излучения атомом, движущимся в АСО со скоростью V .

Если атом излучает под прямым углом к направлению своего движения, то соответствующие этому случаю импульсные диаграммы изображены на рис. 13.2.

Атом вначале за счёт своей массы покоя излучает фотон с массой Δm_0 . Но так как фотон тут же взаимодействует с самим атомом, то его масса уменьшается и становится Δm . Масса атома после излучения m' и его скорость V' . Для наглядности вектор $m'V'$ отклонён от вектора mV , хотя реально он практически не отклоняется из-за несоизмеримо большей массы атома в сравнении с излучаемым фотоном.

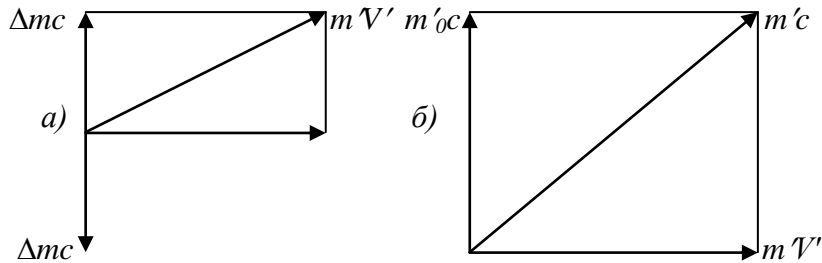


Рис. 13.2. Импульсные диаграммы атома, излучающего под прямым углом к направлению своего движения: а) диаграмма внешних импульсов; б) импульсная диаграмма атома в целом после излучения.

В этом случае можем записать следующие равенства:

масса покоя атома после излучения $m'_0 = m_0 - \Delta m_0$;

полная масса атома после излучения $m' = m - \Delta m$;

квадрат внешнего импульса атома после излучения

$$(m'V')^2 = (mV)^2 + (\Delta mc)^2;$$

соотношение (12.1) для атома после излучения

$$(m'_0c)^2 + (m'V')^2 = (m'c)^2.$$

Подставляя все значения в последнее уравнение и разрешив его относительно массы излучаемого фотона, с учётом зависимости массы m от m_0 и её скорости, получим: $\Delta m = \Delta m_0(1 - \Delta m_0/2m_0)\sqrt{1 - V^2/c^2}$. Соответственно, для частоты излучённого фотона с учётом (12.2) получим: $\nu = \nu_0(1 - \Delta m_0/2m_0)\sqrt{1 - V^2/c^2}$.

Практически всегда множитель в скобках можно считать равным единице. Тогда собственная частота излучения движущегося атома будет: $\nu'_0 = \nu_0\sqrt{1 - V^2/c^2}$. (13.6)

Рассмотрим излучение фотона атомом в направлении скорости своего движения в АСО. Соответствующие этому случаю импульсные диаграммы изображены на рис. 13.3.

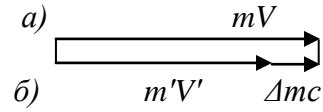


Рис. 13.3. Внешний импульс атома до излучения (а) и после излучения (б), а также импульс фотона. Полная импульсная диаграмма атома после излучения такая же, как и в предыдущем случае.

Для этого случая, аналогично предыдущему, можем записать следующие равенства:

$$\text{масса покоя атома после излучения } m'_o = m_o - \Delta m_o;$$

$$\text{полная масса атома после излучения } m' = m - \Delta m;$$

$$\text{внешний импульс атома после излучения } m'V' = mv - \Delta mc'$$

соотношение (12.1) для атома после излучения

$$(m'_o c)^2 + (m'V')^2 = (m'c)^2.$$

Подставляя всё в последнее уравнение, с учётом зависимости массы m от её массы покоя и скорости, вначале получим:

$$\Delta m = \Delta m_o \left(1 - \Delta m_o / 2m_o\right) \frac{\sqrt{1 - V^2/c^2}}{1 - V/c}.$$

А в конечном счёте, частота излучения

$$\text{определится как: } \nu = \nu_o \frac{\sqrt{1 - V^2/c^2}}{1 - V/c}.$$

Если же атом излучает в направлении, противоположном направлению своего движения, то частота излучения будет:

$$\nu = \nu_o \frac{\sqrt{1 - V^2/c^2}}{1 + V/c}.$$

В общем же случае частоту излучения движущегося в АСО

$$\text{источника можно выразить формулой: } \nu = \nu_o \frac{\sqrt{1 - V^2/c^2}}{1 - \frac{V}{c} \cos \alpha}, \quad (13.7)$$

где α – угол между направлением движения источника и направлением излучения.

Как видно из последней формулы, частота волнового процесса, связанного с излучением фотонов движущимся в АСО источником, зависит от направления излучения в соответствии с классическим принципом Доплера, но отличается от последнего постоянным

множителем $\sqrt{1-V^2/c^2}$. И мы видим, что собственная частота излучения атома при его движении в АСО уменьшилась ровно настолько, насколько замедляется "время" в условно движущейся ИСО в трактовке СТО Эйнштейном. Так как частота эталона времени в движущейся ИСО замедляется *точно так же*, частота излучения от покоящегося в ней источника будет оценена в самой ИСО *точно такой же*, какой она будет в случае излучения атомом, покоящимся в АСО. Другими словами, если в абсолютно движущейся ИСО при разметке её "*особого физического времени*" (выражение Эйнштейна) мы используем её изменившийся объективно реально эталон времени, то при этом в системе соблюдается ПО. *В этом смысле* можно считать, что в движущейся ИСО замедляется не только ход её часов, но и течение самого *условного* времени, если мы измеряем его по одним и тем же часам в ИСО.

Таким образом, мы показали, что *ход* современных эталонных часов в движущейся ИСО изменяется *объективно реально* (замедляется) и зависит от *собственной* (иначе, *абсолютной*) скорости движения ИСО в реальном физическом пространстве.

В настоящее время, как известно, в качестве эталона времени принята секунда – единица времени, равная по длительности 9192631770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия. Атомы являются практически идеальными часами, а все остальные часы сверяются с частотой их (атомов) излучения.

Теперь рассмотрим до конца вопрос, связанный с проявлением релятивистского эффекта Доплера в разных случаях движения источника и приёмника света.

Итак, полученная выше формула (13.7) даёт нам частоту света, которая будет воспринята неподвижным в АСО наблюдателем от движущегося источника в зависимости от направления излучения, а следовательно, и наблюдения. Но если источник света неподвижен в АСО, а приёмник, воспринимающий свет, движется со скоростью V , то частота воспринимаемого света ν' также будет зависеть от угла между направлением движения и направлением наблюдения. Кроме этого, частота воспринимаемого излучения возрастёт в связи с тем, что собственное время в движущейся системе отсчёта замедлено. В

общем случае частоту ν' , воспринимаемую движущимся в АСО приёмником от неподвижного источника, излучающего с частотой ν_0 ,

$$\text{можно выразить формулой } \nu' = \nu_0 \frac{1 + \frac{V}{c} \cos \alpha}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, \quad (13.8)$$

где α - угол между направлением движения приёмника и направлением от приёмника на источник света.

Если приёмник движется прямо на источник света, т.е. угол $\alpha = 0$, то формула (13.7) примет вид $\nu' = \nu_0 \frac{1 + V/c}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} = \nu_0 \sqrt{\frac{1 + V/c}{1 - V/c}}$.

С другой стороны, если источник света движется в АСО прямо на неподвижный приёмник, то, возвращаясь к формуле (13.7), частоту воспринимаемого приёмником света можно выразить как $\nu' = \nu_0 \frac{\sqrt{1 - V^2/c^2}}{1 - V/c} = \nu_0 \sqrt{\frac{1 + V/c}{1 - V/c}}$. И мы видим, что оба выражения совпадают, то есть частота воспринимаемого приёмником света не зависит от того движется ли источник прямо на приёмник, или движется приёмник прямо на источник.

Легко также показать, что одинаковым будет выражение для воспринимаемой частоты и в том случае, когда источник удаляется от неподвижного в АСО приёмника, или наоборот, когда приёмник удаляется от неподвижного в АСО источника по связывающей их прямой. Выражение примет вид $\nu' = \nu_0 \sqrt{\frac{1 - V/c}{1 + V/c}}$.

Если неподвижный в АСО приёмник принимает свет от движущегося источника под углом 90° к направлению движения, то, как мы уже показали выше (см. формулу (13.6)), частота воспринимаемого света будет $\nu'_0 = \nu_0 \sqrt{1 - V^2/c^2}$. Этот же результат следует и из формулы (13.7). К эффекту Доплера он никакого отношения не имеет, так как связан лишь с уменьшением собственной частоты источника. А то, что действительно можно назвать поперечным эффектом Доплера проявляется тогда, когда движущийся в АСО приёмник воспринимает излучение, идущее от неподвижного в АСО источника перпендикулярно направлению своего движения.

$$\text{Тогда из формулы (13.8) следует, что } \nu' = \frac{\nu_0}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}. \quad (13.9)$$

И сразу может показаться, что это различие результатов говорит о неполной обратимости взаимных оценок в рассматриваемых двух случаях, и что его можно использовать для выявления абсолютного движения в АСО. Но это не так.

Рассмотрим более внимательно последний случай. Когда в какой-либо ИСО, движущейся в АСО со скоростью V , наблюдают или воспринимают излучение от неподвижного источника перпендикулярно направлению движения ИСО, то фактически излучение в АСО направлено не перпендикулярно, а под углом $\alpha = \frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{V}{c}$ к направлению движения приёмника (см. рис. 13.4). То есть воспринимаемое приёмником излучение должно иметь в АСО такое направление, чтобы проекция его скорости c на направление движения ИСО равнялась бы V . Тогда по отношению к ИСО излучение будет поступать перпендикулярно к направлению её движения.

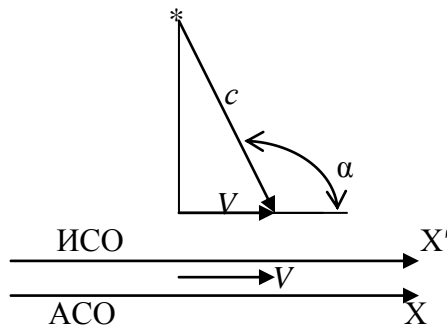


Рис. 13.4. Из АСО видно, что излучение от неподвижного в АП источника, воспринимаемое в ИСО перпендикулярно к её оси X' , фактически в АП движется к ней под углом α .

В этом случае формула (13.8) даёт

$$v' = v_0 \frac{1 + \frac{V}{c} \cos \alpha}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} = v_0 \frac{1 - V^2/c^2}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} = v_0 \sqrt{1 - V^2/c^2}, \text{ то есть точно такой же}$$

результат, как и по формуле (13.6).

Чтобы в ИСО принимать излучение, идущее действительно по нормали к направлению её движения, приёмник в ИСО следует направить под углом $\alpha = \arctg \frac{c}{V}$ к этому направлению (см. рис. 13.5).

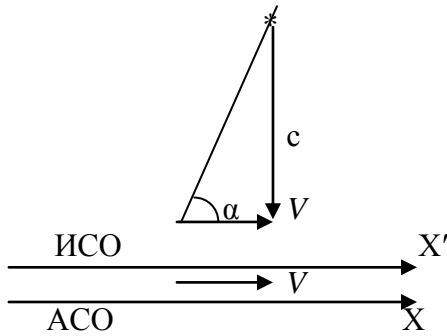


Рис. 13.5. Из АСО видно, что если мы хотим воспринимать в ИСО излучение от неподвижного в АСО источника действительно под прямым углом к направлению её движения, то должны наблюдать его под углом α .

В этом случае приёмник воспринимает излучение с частотой согласно формуле (13.9). При этом следует отметить, что указанный угол α определён в АСО. В самой ИСО он будет оценен как $\alpha' = \arccos \frac{V}{c}$, так как с точки зрения ИСО картина приёма излучения выглядит так, как показано на рис. 13.6.

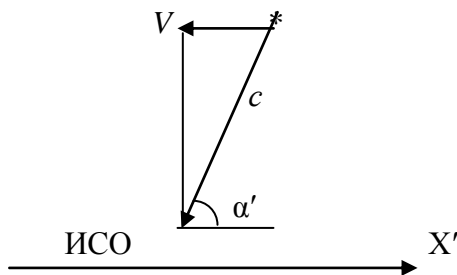


Рис. 13.6. Излучение от *неподвижного* в АСО источника в ИСО наблюдается под углом α' . При этом источник воспринимается как движущийся.

С другой стороны, если действительно в АСО принимать излучение от *движущегося* в АСО источника так, как показано на рис. 13.6, то частота воспринятого света согласно формуле (13.7) будет

$$\nu = \nu_0 \frac{\sqrt{1 - V^2/c^2}}{1 - \frac{V}{c} \cos \alpha'} = \nu_0 \frac{\sqrt{1 - V^2/c^2}}{1 - V^2/c^2} = \frac{\nu_0}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}. \quad \text{То есть частота будет}$$

воспринята точно такой же, как и по формуле (13.9).

Таким образом, мы видим, что и в этом случае измерения полностью обратимы.

Рассмотрим ещё раз случай, когда свет излучается и воспринимается в какой-либо ИСО. Допустим, что ИСО движется в АСО со скоростью V в направлении своей оси x -ов. На этой оси и расположены неподвижно источник и приёмник света. Пусть источник излучает свет в направлении своего абсолютного движения. Тогда в соответствии с формулой (13.7) в АСО свет будет иметь частоту $\nu' = \nu_0 \frac{\sqrt{1-V^2/c^2}}{1-V/c}$. (13.10).

Но так как приёмник в АСО движется и свет догоняет его по прямой, то воспринимаемая частота в соответствии с формулой (13.8) с учётом (13.10) определится как

$$\nu'' = \nu' \frac{1-V/c}{\sqrt{1-V^2/c^2}} = \nu_0 \frac{\sqrt{1-V^2/c^2}(1-V/c)}{(1-V/c)\sqrt{1-V^2/c^2}} = \nu_0.$$

Такой же будет воспринятая частота и при любом другом взаимном расположении неподвижных в ИСО источника и приёмника света. Только всякий раз, когда в АСО в своём самостоятельном существовании свет идёт от источника к приёмнику не по направлению их общего движения, а под некоторым углом к нему, следует иметь в виду, что значение этого угла в АСО и в ИСО будет различным, как это уже и было показано выше.

Таким образом, для наблюдателей в любой ИСО собственная частота излучения ν_0 во всех направлениях остаётся точно такой же, как и для наблюдателей в АСО.

И, наконец, допустим, что в самой движущейся ИСО источник света движется вдоль оси x -ов со скоростью u' , имея абсолютную скорость движения в АСО равную u . Найдём, какой будет частота света, воспринимаемая наблюдателями в ИСО под разными углами к направлению скорости u' .

Если приёмник излучения расположен на оси x -ов и источник приближается к нему, то частота воспринимаемого света определится следующим образом.

Так как источник излучения движется в АСО со скоростью u , то частота излучения в АСО вдоль оси x -ов в соответствии с формулой (13.7) составит $\nu = \nu_0 \frac{\sqrt{1-u^2/c^2}}{1-u/c} = \nu_0 \sqrt{\frac{1+u/c}{1-u/c}}$. (13.11)

Приёмник движется в АСО со скоростью v . Значит, по формуле (13.8) с учётом (13.11) и того, что по формуле «сложения скоростей» $u' = \frac{u-V}{1-uV/c^2}$, частота воспринимаемого неподвижным в ИСО приёмником света будет:

$$v' = v \frac{1-V/c}{\sqrt{1-V^2/c^2}} = v_0 \sqrt{\frac{(1-V/c)(1+u/c)}{(1+V/c)(1-u/c)}} = v_0 \sqrt{\frac{1 + \frac{u-V}{c^2(1-uV/c^2)}}{1 - \frac{u-V}{c^2(1-uV/c^2)}}} = v_0 \sqrt{\frac{1+u'/c}{1-u'/c}}.$$

Если же источник удаляется от приёмника, то проделанные аналогичным образом расчёты для воспринимаемой в ИСО приёмником частоты дают выражение $v' = v_0 \sqrt{\frac{1-u'/c}{1+u'/c}}$. Если приёмник принимает от движущегося источника излучение, направленное по нормали к оси x -ов, то частота воспринимаемого излучения будет

$v' = v_0 \sqrt{1-u'^2/c^2}$. Данный случай впервые был подтверждён экспериментально в 1938 г. Айвсом и Стилуэллом в опытах с каналовыми лучами атомов водорода, двигавшимися со скоростью порядка 10^8 см/с и был назван поперечным эффектом Доплера. Название неудачное, так как именно сугубо волновой эффект Доплера поперечным быть не может.

Все три последних выражения для v' обобщаются формулой $v' = v_0 \frac{\sqrt{1-u'^2/c^2}}{1 - \frac{u'}{c} \cos \alpha}$, которая аналогична формуле (13.7) с той лишь разницей, что в ней взята скорость u' -скорость движения источника излучения, определённая в ИСО, и α - угол между направлением движения источника и направлением излучения, также определённый в ИСО.

Если в ИСО движется не источник, а приёмник излучения, то в общем случае воспринимаемая им частота определится по формуле

$$v' = v_0 \frac{1 + \frac{u'}{c} \cos \alpha}{\sqrt{1-u'^2/c^2}}, \text{ где } u' \text{- скорость движения приёмника излучения,}$$

определённая в ИСО, а α - угол в ИСО между направлением движения приёмника и направлением от приёмника на источник. Данная формула аналогична формуле (13.8). И мы ещё раз убеждаемся в том, что в движущейся ИСО все явления описываются и численно

оцениваются точно так же, как и в АСО в их самостоятельном существовании.

Внимательный читатель очевидно уже отметил, что выше в наших расчётах частоты излучения, как от неподвижного источника, так и от движущегося, мы находили вначале величину массы излучаемого фотона, а потом переводили её по известной формуле в его частоту. То есть оба расчёта, как в корпускулярной форме, так и в волновой форме идентичны. И мы видим, что эффект Доплера, считающийся чисто волновым, имеет и чисто корпускулярное объяснение.

14. Изменение эталона длины в движущейся ИСО и сокращение тел при движении

Покажем, что эталон длины, состоящий из n_0 электромагнитных волн длиной λ_0 , то есть имеющий в движущейся со скоростью v ИСО при неподвижном в ней источнике волн собственную длину $n_0\lambda_0$, в АСО с неподвижным в ней источником будет иметь длину $n_0\lambda_0\sqrt{1-v^2/c^2}$. То есть *эталон длины* при абсолютном движении претерпевает *реальное* сокращение.

Допустим, что источник электромагнитных волн находится на оси x' -ов в ИСО в точке А и имеет с точки зрения АСО собственную частоту излучения $\nu = \nu_0\sqrt{1-v^2/c^2}$, (14.1)

где ν_0 – частота излучения этого же источника, но неподвижного в АСО. Излучение направляется вдоль оси X' , достигает точки В, отстоящей от А на расстоянии $n_0\lambda_0$ в ИСО, отражается в ней и возвращается в А, где и регистрируется $2n_0$ эталонных длин волн, рис. 14.1. То есть это стоячий волновой процесс с собственной длиной $n_0\lambda_0$ в ИСО

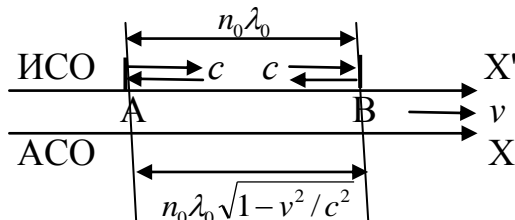


Рис.14.1. Движение эталонного волнового излучения в ИСО.

Иначе говоря, это некоторое устройство, воспроизводящее в произвольно движущейся ИСО общепринятый сегодня эталон длины.

Если длина АВ в АСО будет $n_0\lambda_0\sqrt{1-v^2/c^2}$, то время движения излучения в этой же системе от А до В составит:

$$t_1 = \frac{n_0\lambda_0\sqrt{1-v^2/c^2}}{c-v}, \quad (14.2)$$

так как точка В уходит от излучения. Время же движения излучения

$$\text{от В до А будет } t_2 = \frac{n_0\lambda_0\sqrt{1-v^2/c^2}}{c+v}, \quad (14.3)$$

так как точка А движется навстречу излучению. Общее же время движения излучения во всё́м замкнутом цикле составит $t = t_1 + t_2$. С

учётом (14.2) и (14.3) это будет $t = \frac{2n_0\lambda_0}{c\sqrt{1-v^2/c^2}}$. А так как $\lambda_0/c = 1/\nu_0$,

$$\text{то } t = \frac{2n_0}{\nu_0\sqrt{1-v^2/c^2}}. \quad (14.4)$$

Тогда общее количество волн в этом процессе с учётом собственной частоты излучения будет $n = \nu t$. С учётом (14.1) и (14.4)

$$n = \nu_0\sqrt{1-v^2/c^2} \frac{2n_0}{\nu_0\sqrt{1-v^2/c^2}} = 2n_0.$$

Следовательно, движущийся эталон длины действительно становится короче неподвижного в АСО. Это известное лоренцево *сокращение длины*, зависящее от *абсолютной* скорости движения.

Покажем также, что такого сокращения не будет происходить с эталоном, если его расположить в ИСО перпендикулярно к направлению движения, рис. 14.2а. Тогда действительный путь движения электромагнитных волн от точки А до точки В и назад в АСО будет таким, как показано на рис. 14.2б.

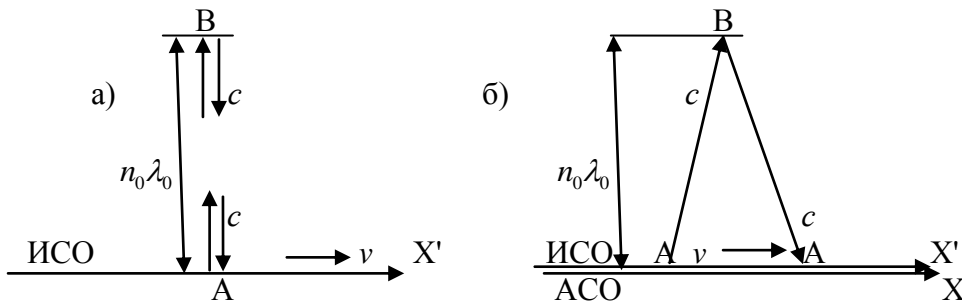


Рис. 14.2. Движение эталонного излучения от А до В и назад: а) в ИСО и б) в АСО.

Здесь на рис. 14.3б мы видим начальное и конечное положение точки А, а также положение точки В в момент принятия и отражения

излучения. Из этого рисунка также видно, что время движения излучения от А до В и от В до А при несокращённом эталоне длины будет одинаковым и равным $t = \frac{n_0 \lambda_0}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{n_0 \lambda_0}{c \sqrt{1 - v^2 / c^2}} = \frac{n_0}{v_0 \sqrt{1 - v^2 / c^2}}$, а время полного замкнутого цикла в два раза больше. И общее число волн составит $n = v 2t = v_0 \sqrt{1 - v^2 / c^2} \frac{2n_0}{v_0 \sqrt{1 - v^2 / c^2}} = 2n_0$, что и требовалось доказать.

Твёрдые тела, как и элементарные частицы, имеют в своей основе некоторую сложную корпускулярно-волновую природу и изменяют свою длину при движении и различных поворотах в пространстве точно так же, как и волновые эталоны длины. Твёрдое тело - это тоже некоторый *процесс*, некоторая *форма волнового движения* [15]. И если Лоренца упрекали в том, что он безосновательно принял возможность такого поведения твёрдых тел при их абсолютном движении, или пытался объяснить это силовым взаимодействием тел с эфиром, то теперь мы видим, что их сокращение доказано. И для этого не нужно рассматривать никакого их силового взаимодействия с неподвижным эфиром. Известные опыты Майкельсона - Морли и других их последователей со светом можно считать экспериментальным подтверждением сокращения размеров твёрдых тел при их абсолютном движении.

Заключение.

СТО подвергалась критике с момента её создания. Причём подвергалась критике не только её трактовка, а и сама её физическая суть. И по отношению к самой теории это было несправедливо. Но, когда эта теория вместе со всей квантовой физикой позволила совершить величайшие прорывы в познании материи, в познании взаимопревращений различных форм её движения, не признать её было просто невозможно.

Однако та *мистическая* по своей сути трактовка, которую ей дал Эйнштейн, не позволила использовать все её истинные возможности. Устранив из теории саму её материальную основу – эфир, Эйнштейн, более чем на сто лет, закрыл путь к осознанию *истинного смысла* СТО. А он как раз и заключается в том, что только с её помощью мы

можем раскрыть истинную картину того, как развиваются различные фундаментальные явления природы в своём *объективно реальном* существовании. Раскрыть через их *абсолютные* формы движения как движения *единой* материальной мировой среды – эфира [16] и их *проявления* по отношению к нашим ИСО.

СТО построена на основе *мысленных* экспериментов. Но никогда ещё на практике ни одна ИСО не строилась так, как в самой теории. Однако логически выверенное построение различных мысленных физических экспериментов на основе всех ранее полученных знаний позволяет получать те новые фундаментальные знания, которые мы никогда бы не сумели получить на практике. Но без *правильной* трактовки СТО мы не сумеем до конца разобраться с тем, что получаем в своих фундаментальных экспериментах. Не сумеем даже корректно поставить эти эксперименты и задать природе нужные вопросы.

Но, к сожалению, до сих пор наши глаза были приоткрыты лишь частично. Новый подход к пониманию теории позволит увидеть многое и лучше, и глубже, а также увидеть те горы «научного» мусора, которым сегодня так захлавлена теоретическая физика. Можно с уверенностью сказать, что сегодня в физике наступает эра фундаментального познания *эфира*, так незаслуженно из неё изгнанного.

Из исправленной трактовки СТО с необходимостью вытекает, что весь эфир как единая материальная среда *в целом* механически неподвижен. Однако в каждом своём микро объёме он все же имеет и некоторые как бы механические фундаментальные микро движения относительно положения условного равновесия. Эти микро движения передаются в эфире от точки к точке, захватывая всё мировое пространство. И так как из опыта мы знаем, что все видимые формы движения в природе носят определённый закономерный характер, то из этого с необходимостью следует, что сами микро движения обязательно должны быть строго циклическими. Только такие движения могут находиться между собой в строго закономерных отношениях. Отсюда также вытекает, что их распространение в пространстве обязательно носит *волновой* характер.

Таким образом, *главный* вывод из СТО заключается в том, что все видимые формы движения в природе есть результат взаимодействия

элементарных *волновых* форм движения в эфире по всему его объёму (пространству). Из элементарных волновых форм движения вначале структурируются те, с которыми мы связываем существование элементарных частиц. Более сложные формы волнового движения образуют атомы, далее молекулы, газы, жидкости, твёрдые тела и т. д. вплоть до объектов космических масштабов. Поэтому совсем не случайно фундаментальная физика стала не просто квантовой, но и *волновой*. И это полностью согласуется с тем, к чему ещё в конце XIX столетия вплотную подошёл Г.А. Лоренц.

Вот как Лоренц выразил эту (*по самой её физической сути*) мысль: «Действительно, одно из важнейших наших основных предположений будет заключаться в том, что эфир не только занимает все пространство между молекулами, атомами и электронами, но что он и проникает все эти частички. Мы добавим гипотезу, что, хотя бы частички и находились в движении, эфир *всегда остается в покое*. Мы можем примириться с этим, на первый взгляд поразительным, представлением, если будем мыслить частички материи как некоторые местные изменения в состоянии эфира. Эти изменения могут, конечно, очень хорошо продвигаться вперёд, в то время как элементы объёма среды, в котором они наблюдаются, остаются в покое» [18, с.32].

Ссылки:

1. Пуанкаре А. Избранные труды в 3-х томах: М., Наука, 1974, т.3.
2. Эйнштейн А. «Собранию научных трудов» (СНТ) в 4-х томах: М.; Наука, 1965-1967.
3. Роль постулатов при построении и трактовке СТО и в чём их подлинная суть <http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/230217200148.pdf3>.
4. К анализу философских и физических оснований трактовки специальной теории относительности Эйнштейном <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/11533.html>
- 4.1. Ещё раз о философских и физических принципах построения СТО <http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/160710123657.pdf>
5. Сигнальная процедура сверки показаний разноместных часов ИСО в СТО <http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/230205195755.pdf>

6. Абсолютная система отчёта и принцип постоянства скорости света в ней. <http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/230820183912.pdf>
7. Пространство-время в специальной теории относительности. <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/10857.html>
8. Принцип постоянства скорости света и его роль в СТО <http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/221017213834.pdf>
9. Что означает понятие «время ИСО» в СТО <http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/210504134659.pdf>
10. Логические противоречия в трактовке СТО Эйнштейном <http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/221128200324.pdf>
11. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике, вып. 1. М.: Мир, 1977, с. 281.
12. Лоренц Г.А. Электромагнитные явления в системе, движущейся с любой скоростью, меньшей скорости света. В сб. Принцип относительности. М.: Атомиздат, 1973, с.67-90.
13. Бриллюэн Л.. Новый взгляд на теорию относительности. М.: Мир, 1972, с. 101.
14. Как понимать формулу сложения скоростей в СТО <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/11862.html>
15. Лоренц Г.А. Теории и модели эфира. М.-Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1936.
16. Корпускулярно-волновой дуализм природных явлений. <http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/151125210701.pdf>
17. Эфир и его динамическое самодвижение. <http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/200204204545.pdf>
18. Лоренц Г.А. Теория электронов. М.: ГИТТЛ, 1953,.