

Основы принципиально правильного построения СТО

А.К. Юхимец, Anatoly.Yuhimec@Gmail.com

Содержание.	- 1
Предисловие.	- 2
Введение.	- 3
1. Принципиально правильное построение наших ИСО.	- 7
2. Преобразования Лоренца.	- 11
3. Теоретически мыслимое П-В в движущейся ИСО.	- 12
4. Проведение мысленных экспериментов в ИСО и их анализ.	- 14
4.1. Измерение длины движущегося стержня в АСО.	- 15
4.2. Измерение из ИСО длины движущегося стержня.	- 16
4.3. Измерение из ИСО хода часов, покоящихся в АСО.	- 18
4.4. Измерение скорости движения тела в ИСО.	- 20
4.5. Измерение массы движущегося тела в ИСО.	- 22
5. Преобразование сил между АСО и ИСО.	- 25
6. Измерение и преобразование электромагнитных полей.	- 33
7. Эффект Доплера со светом.	- 42
Заключение.	- 48
Ссылки.	- 49
Приложения.	- 49
Приложение 1. Реальные изменения физических эталонов при их динамическом движении в реальном пространстве.	- 49
1.1. Изменение эталона массы при его собственном (абсолютном) динамическом движении.	- 49
2. 1. Излучение атомов при движении и изменение волнового эталона времени.	- 53
3.1. Изменение волнового эталона длины в динамически движущейся ИСО и сокращение тел при движении.	- 57
Ссылки.	- 60
Приложение 2. Разрешение «парадокса с часами» в СТО.	- 60
Ссылки.	- 65
Приложение 3. «Одновременный» волновой фронт в ИСО.	- 66

Предисловие.

Прежде всего хочу напомнить читателю, что абсолютно все явления в Природе как таковой существуют и протекают в **реальном физическом мировом пространстве** [1]. Оно *физическое* потому, что вопреки нашим ощущениям не является пустым (*пустотой*), а является непрерывной *материальной средой* (субстратом). По сути, *эту среду* сегодня и называют *космическим (физическим) вакуумом*. Но, отдавая дань исторической традиции, назовём её *эфиром*. Более того, эта среда и есть то, что названо в философии всеохватывающим понятием *материя*, а в физике её сущность характеризуется ещё и тем, что называется *массой*. При этом само понятие массы, с одной стороны, является *количественной мерой* субстрата эфира, а с другой стороны, выражает и его *инертные свойства*. Поэтому любая конкретная структурная форма движения материи-эфира *проявляет себя физически* через количество массы в ней, а значит, и её инерцию.

Здесь же отмечу, что эфир *не заполняет* мировое пространство, а *образует его* своей трёхмерной протяжённостью. Именно эта его протяжённость и *воспринимается* нами как *геометрическое пространство* Вселенной. А все реально существующие физические объекты в ней являются определёнными упорядоченными *формами* структурно-динамического *самодвижения* её массы. Их мы и называем *телами и физическими полями*. То есть все физические тела и поля *не привнесены* в геометрическое пространство эфира, а есть *состояниями* его движения. И когда мы будем говорить об изменении *состояния* чего-либо, то всегда будем иметь в виду именно *изменение состояния движения массы* данной физической сущности в эфире как целом. Но при этом весь эфир в целом как *мировое физическое пространство* будем считать *неподвижным* [2].

Реальное физическое мировое пространство (далее будем называть его просто ***реальным пространством***) *по состоянию* его внутреннего *динамического самодвижения* не однородно и не изотропно. Это связано с существованием и движением в нём огромных по массе космических тел и целых галактик. Но далее мы будем рассматривать такие *области пространства*, состояние которых можно практически (т.е. с большой точностью) считать *однородным и изотропным*.

Так как вся Природа построена на *динамическом самодвижении* её массы, сразу же принципиально важно отметить, что все её видимые физические объекты уже по определению находятся и в некотором

собственном движении по отношению к реальному пространству в целом. В этом смысле их *собственное* движение можно назвать *абсолютным*. Мы же можем наблюдать только их *относительное* (т.е. чисто кинематическое) движение *по отношению друг к другу*. Но если мы видим, что два или более тела находятся в относительном движении, то это *уже свидетельствует* о том, что они при этом имеют и *разное собственное* (абсолютное) динамическое самодвижение. На этом и была построена вся классическая механика.

Мы находимся на движущейся в реальном пространстве планете Земля и тем самым вынуждены изучать различные физические явления (их протекание) или в своих *уже движущихся* лабораторных установках, или с помощью опять же движущихся вместе с Землёй различных наших технических средств. Отсюда неизбежно и то, что всё, относящееся к самому изучаемому явлению, будет частично как бы смешиваться с тем, что относится к нашим техническим средствам познания самих явлений.

Мы говорим, что изучаем явления с помощью своих *наблюдений* и разнообразных *измерений*. Прежде всего это пространственные измерения. И для их взаимной увязки в изучаемом явлении мы вводим в свой познавательный процесс различные *системы координат* (СК). Чаще всего это декартовы прямоугольные СК, оси которых размечены с помощью общепринятых *эталонов протяжённости*. А для изучения движений в них мы снабжаем свои СК ещё и общепринятыми *эталонными* часами. Такая измерительно-описательная конструкция и получила название *системы отсчёта* (СО).

Эталонные часы нужны нам для измерения *длительности* различных движений в явлениях. Хотя часто понятие «длительности» движения заменяют понятием «времени» движения. А так как «временем» часто называют и какой-либо всего лишь *момент* в движении (конкретные *показания часов*), то сразу же внесём здесь ясность. Показания часов *всегда* нужны нам лишь для *отсчёта* той или иной *длительности* в явлении. Более подробно всё это рассмотрено в работе автора [3].

Введение.

Специальной теорией относительности (СТО) будем называть теорию, дающую нам *методологию* принципиально правильного

подхода к изучению *быстро протекающих* физических явлений, многие скорости в которых или равны скорости распространения света, или соизмеримы с ней. Теория называется *специальной* ещё и потому, что, во-первых, в ней исключено из рассмотрения такое глобальное явление как гравитация. Во-вторых, явления будут рассматриваться в их *проявлении по отношению* к таким СО, которые можно считать движущимися в реальном пространстве практически *по инерции* (прямолинейно и равномерно, т.е. с постоянной скоростью).

Непосредственно *наблюдать* быстро протекающие явления, и тем более что-либо *измерять* в них, не вмешиваясь в само явление, реально нет никакой возможности. Поэтому мы и должны разработать принципиально правильную методологию, во-первых, самого *построения* своих технических средств как бы *реальных наблюдений* за изучаемым явлением. Во-вторых, у нас должна быть и принципиально правильная методология их *реального применения*, включающая *понимание* того, а *что же конкретно* мы можем *измерить*, а также анализа того, что проявлено в эксперименте, включая *формулировку выводов*, исключающих то, что не относится к самому явлению. Тем самым теория является *фундаментальной*, так как должна ответить нам на вопрос: *как* явления протекают *объективно реально*, т.е. на самом деле, независимо от наших средств их познания.

Для начала введём *основные понятия*, которые будем применять, как при построении, так и при использовании СТО.

1. Основным *техническим* средством в нашем познавательном процессе будет *инерциальная система отсчёта* (ИСО). Она состоит из инерциально движущейся СК и множества эталонных часов, которые в принципе могут находиться в любой точке системы. Все эти *разноместные* часы должны быть *согласованы* между собой по их *показаниям*, что в ортодоксальном изложении теории *не совсем верно принято* считать «*синхронизацией их хода*». Об этом речь будет более подробно чуть дальше, но уже здесь особо следует подчеркнуть, что инерциальная координатная система в теории считается ИСО *только после того*, как в ней создана *определённая система* согласованных между собой *показаний* всех её разноместных часов.

2. Для организации и проведения познавательного процесса в теорию вводятся виртуальные наблюдатели, которые как бы строят вначале определённым образом свою ИСО. А далее будем считать, что при рассмотрении какого-либо явления они *реально* могут контролировать практически каждую точку своей СК в любой момент.

3. Вот то, что наблюдатели и могут *реально наблюдать* рядом с любой точкой своей ИСО, регистрируя координаты этой точки и показания часов в ней, и называется в теории точечным событием (ТС). **А так как само явление быстротекущее, то кроме регистраций таких ТС в наблюдаемом (вернее, изучаемом) явлении ничего другого у наблюдателей после проведения эксперимента и нет. И все свои «измерения» они могут выполнять лишь через зарегистрированные ТС по отношению к своей ИСО.**

4. Как теория *физическая* СТО строится на анализе принципиально правильно выстроенных мысленных экспериментов. Но при её построении мы не можем обойтись без принятия определённых положений, связанных как с самой *природой* явлений, так и с нашим *познавательным* процессом. Они, в свою очередь, опираются уже на реальные, хотя и косвенные, *опытные факты*, которые не являясь прямыми доказательствами всё же могут быть приняты в качестве достаточно достоверных *постулатов* (или принципов).

5. Природным (как говорят, *онтологическим*) постулатом при построении теории, прежде всего, является принцип постоянства скорости света (ППСС). Сформулируем его так: ***свет как электромагнитный волновой процесс распространяется в вакууме реального пространства от точки излучения с постоянной скоростью во всех направлениях, независимо от скорости собственного движения его источника; её численное значение $c = 299792458 \pm 1,2 \text{ м/сек}$.***

Приведенное численное значение скорости света в вакууме было получено в земных лабораторных условиях как *среднее значение* при движении светового сигнала в некоторой инерциальной СК от точки излучения к отражателю и назад к точке излучения. **Но принятый нами постулат утверждает, что если бы экспериментальная установка *реально покоилась*, то именно такое численное значение**

скорости света и было бы получено как в прямом, так и в обратном распространении светового импульса.

Однако в ортодоксальной трактовке теории ППСС так и не получил своей правильной (*онтологической*) формулировки [4].

6. Познавательным (как говорят, *гносеологическим*) постулатом является принцип относительности (ПО). Сформулируем его так: *находясь в любой ИСО, динамически движущейся с собственной скоростью меньше скорости света, мы уже с помощью мысленных экспериментов можем познавать ту форму законов природы, которую можно было бы установить в реально покоящейся абсолютной системе отсчёта (АСО) и в соответствии с которой различные физические явления протекают объективно реально в своём динамическом самодвижении.* В этом отношении все наши ИСО равноправны и между собой, и с АСО.

Данный познавательный принцип сначала был установлен для чисто *механических* явлений ещё Галилеем. Но после проведения хорошо известных экспериментов А. Майкельсоном и Э. Морли, ПО был распространён и на оптические и другие электромагнитные явления. Однако в ортодоксальной трактовке теории его подлинная физическая суть, сформулированная выше, **была заменена** всего лишь вытекающими из неё *чисто математическими следствиями*. Так, например, Г.А. Лоренц и А. Пуанкаре отметили, что согласно с этим принципом ни в какой ИСО невозможно установить скорость её *собственного* движения. Пуанкаре даже назвал это некоторым якобы конспирологическим *законом природы*. То есть *гносеологическому* принципу тем самым был дан статус принципа *онтологического*.

После работ А. Эйнштейна в ПО стали подчёркивать то, что во всех ИСО все физические явления *протекают одинаково*, т.е. по одним и тем же *по форме* законам [5]. Но во многих работах ПО трактуется именно как *равноправие* всех ИСО, якобы вытекающее из того, что все они ничем *принципиально* не могут отличаться друг от друга. И, например, Лоренц даже считал, что у него в теории ПО не выполняется именно потому, что в ней присутствует теоретически мыслимая АСО с её абсолютным пространством и временем, т.е. принципиально отличающаяся от всех реально движущихся ИСО.

После чёткого осмысления всей этой вводной части дальше приступим к построению самой теории.

1. Принципиально правильное построение наших ИСО.

Реально любая ИСО должна строиться на *инерциально* или почти инерциально движущемся теле. И так как все проводимые потом в системе сами эксперименты с быстро протекающими явлениями также будут довольно короткими по длительности проведения каждого из них, то такое массивное тело, как наша Земля, вполне пригодно для создания на ней, прежде всего, необходимой нам *инерциальной* СК. Но можно представить себе, что такая СК создаётся и на специально запущенной массивной ракете, когда её движение станет практически инерциальным.

Вначале те, кого мы и называем *наблюдателями*, градуируют оси своей СК с помощью *эталона длины* и расставляют во всех её точках *эталонные часы*. При этом теоретический анализ (см. приложение) *общепринятых сегодня эталонов* уже показывает нам, что эталон длины изменяется лишь *вдоль движения* как $l' = l / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$, где l – длина эталона в покое, а l' – его длина при движении с собственной скоростью v . *Эталонные часы* при движении *замедляют свой ход* как $\nu' = \nu \sqrt{1 - V^2 / c^2}$, где ν – частота эталона в покое, а ν' – его же частота в движении с собственной скоростью V . Или $\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - V^2 / c^2}$, где это же отношение уже дано между эталонными *длительностями*.

А чтобы СК стала ИСО, их наблюдателям необходимо провести в ней ещё и *сигнальную процедуру согласования* между собой *показаний* всех её разноместных часов. И делают они это с помощью *световых сигналов* так, как если бы их система была реально неподвижной в реально покоящейся (в целом) мировой среде (эфире). То есть фактически они строят свою ИСО так, как строили бы *теоретически мыслимую* реально покоящуюся *абсолютную систему отсчёта* (АСО). А поэтому вначале и покажем наглядно то, как бы они могли это реально сделать. И напомним при этом, что если в ортодоксальной СТО такая «покоящаяся ИСО» была тоже всего лишь *мыслимой*, но при этом к тому же ещё и *условной*, т.е. фактически *субъективной*, то теперь она будет *мыслиться* в теории на вполне *объективно реальной* основе. Именно так и должна строиться *физическая* теория, тем более фундаментальная.

Для некоторого упрощения нашего рассмотрения (без какого-либо ущерба для самой теории) будем рассматривать всё происходящее в координатной системе лишь в её плоскости XOY , рис. 1.1.

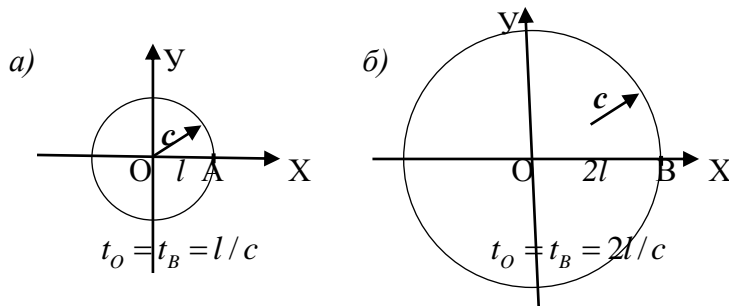


Рис.1.1. Проведение сигнальной процедуры согласования показаний разноместных часов в *реально покоящейся* ИСО; момент а) световой сигнал распространился на расстояние l от начала СК; момент б) световой сигнал распространился на расстояние $2l$ от начала СК.

Все эталонные часы, находящиеся на расстоянии l от начала СК, выставляются на показания $t=l/c$, но в ход пока не запускаются. Часы, находящиеся на расстоянии $2l$ от начала СК, выставляются на показания $t=2l/c$, и т.д. После чего из начала СК, одновременно с запуском часов в этой точке с их начальными показаниями $t_0=0$, во всех направлениях посылается световой сигнал. И когда он, распространяясь сферически, достигает точек СК, находящихся на радиусе $r=l$, все часы в этих точках запускаются в ход. Тогда все они, включая часы в начале СК будут иметь одинаковые показания $t=l/c$.

Когда световой сигнал достигает точек СК, находящихся на радиусе $r=2l$, все часы в этих точках тоже запускаются в ход. Тогда и все они вместе с часами в начале СК и ранее запущенными в ход часами будут иметь уже одинаковые показания $t=2l/c$. Таким же образом запускаются в ход далее и все другие часы СК. **И если представить себе (чисто теоретически), что СК реально покоится в реальном пространстве, то в полученной уже ИСО в любой момент будут единые показания (можно сказать единое время) на всех часах. Все часы действительно будут идти синхронно, т.е. идти в фазе.**

Обратим внимание на то, что только такая, *мыслимая реально покоящаяся*, ИСО может иметь своё *физическое пространство*, которое мы приняли *однородным и изотропным*. А так как она реально имеет и своё *единое физическое время*, то и может быть названа *абсолютной системой отсчёта* (АСО). И только в ней можно

было бы реально зарегистрировать *абсолютную одновременность существования* каких-либо разноместных событий.

Сразу же обратим внимание на следующий весьма существенный момент, который недостаточно раскрыт в ортодоксальной трактовке теории.

Даже построив для себя как бы свою АСО (а в ортодоксальной теории «покоящуюся ИСО»), далее ничего в ней *реально наблюдать и измерять* её наблюдатели не могут, так как изучаемые явления протекают слишком быстро. **Они могут выполнять лишь регистрации различных точечных событий (ТС) в явлении по отношению к своему абсолютному физическому пространству (к своей СК) и абсолютному физическому времени (к своей системе идущих в фазе, т.е. реально синхронно, разноместных часов).**

Теперь обратимся к *реально динамически движущейся* с некоторой скоростью v в реальном пространстве СК'. Нам не нужно *условно назначать* её движущейся, как это делается в ортодоксальной СТО. **Кроме того, никакого собственного физического пространства она не имеет. Её сугубо геометрическое координатное пространство реально пустое.** И его *относительная метрика* обусловлена разметкой осей СК' своими внутренними эталонами протяжённости. А световой сигнал реально распространяется со скоростью c в реальном однородном и изотропном мировом пространстве. Поэтому *от точки излучения в нём* он будет распространяться сферически, независимо от того, что его источник движется вместе с СК'.

Если СК' движется вдоль своей оси X', то её разметка по этой оси будет выполнена *реально укороченным* эталоном. Его объективно реальная протяжённость будет $l'_3 = l_3 \sqrt{1 - v^2 / c^2}$, где l_3 - протяжённость реально покоящегося эталона. А так как по осям Y' и Z' эталон остаётся таким же, как и покоящийся, то *относительное метрическое пространство* строящейся ИСО будет не изотропным. Никаких других физических свойств оно не имеет.

Сигнальную процедуру *согласования показаний* разноместных часов между собой наблюдатели опять же проводят так, как если бы их система была реально неподвижной в реально покоящейся (в целом) мировой среде (эфире). Мы же чисто мысленно проследим и

как бы *наглядно* увидим из уже условно построенной теоретической АСО то, а что же реально у них при этом получится, рис. 1.2.

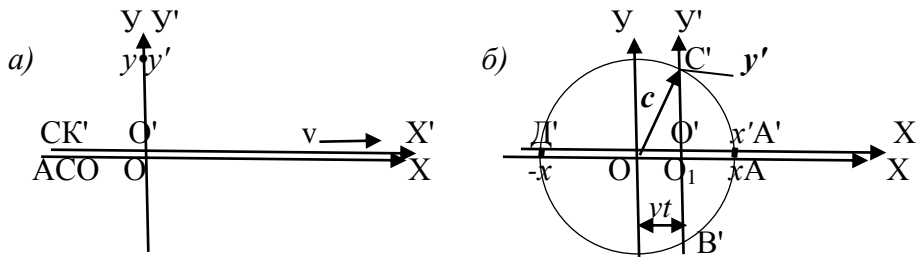


Рис. 1.2. Проведение сигнальной процедуры согласования показаний разноместных часов в движущейся ИСО: момент а) начальный – в совпадающих точках O и O' $t_o = t'_{o'} = 0$; момент б) $t_o = x/c$.

В начальный момент а) из точки O' , совпадающей с точкой O при их показаниях $t_o = t'_{o'} = 0$, в пространство посылается импульсный сферический световой сигнал. Это уже и есть ТС. Все часы в АСО уже идут синхронно, а поэтому в ней на всех её часах тоже будут условно нулевые показания (т.е. условно принимаемые за начало отсчёта). А в создаваемой ИСО в ход запускаются лишь часы в точке O' .

Если следующие, готовые к пуску в ход часы в $СК'$, находятся на оси X' в некоторой точке A' с координатой x' , то на них заранее будут установлены показания $t' = x'/c$. Они будут запущены в ход в момент б), когда световой сигнал, распространяясь в реальном пространстве от точки O , а в движущейся системе как бы от точки O' , достигнет координаты x' . Это будет ещё одно ТС общее для обеих систем. Часы АСО в этой же точке A будут показывать $t = x/c$ от условного нуля.

В этот же момент будут запущены в ход и часы в точках B' и C' с некоторыми координатами y' и $-y'$, а также в точке D' с координатой $-x$ в АСО, так как и до них распространится световой сигнал. Но так как B' и C' отстоят от точки O' на одинаковом расстоянии $|y'|$, то и будут запущены при одинаковых показаниях $t' = y'/c$ (ещё три ТС). Такими же будут и показания часов в O' против точки O_1 (ещё одно ТС). Покажем это.

Так как все часы АСО в любой момент имеют одинаковые показания, то часы в O_1 в момент б) будут показывать $t = x/c$. А так как часы в O' идут медленнее, то будут показывать $t' = \frac{x}{c} \sqrt{1 - v^2/c^2}$. Расстояние $OC' = ct$, расстояние $OO' = vt$. Отсюда расстояние $O'C' = y'$ будет $\sqrt{(ct)^2 - (vt)^2} = ct \sqrt{1 - v^2/c^2}$. А так как $ct = x$, то $y' = x \sqrt{1 - v^2/c^2}$.

Тогда в точках В' и С', как и в точке О', показания часов будут одинаковыми, т.е. $t' = \frac{x}{c} \sqrt{1 - v^2/c^2} = \frac{y'}{c}$. Другими словами, в динамически движущейся ИСО в любой её плоскости, нормальной к направлению движения системы, разноместные часы будут иметь одинаковые показания в любой момент.

Расстояние точки Д' от О' в СК' будет $(x + vt) / \sqrt{1 - v^2/c^2}$. Поэтому часы в ней будут запущены в ход с показаниями $t'_{Д'} = \frac{x + vt}{c \sqrt{1 - v^2/c^2}}$. (1.1)

А так как часы в А' в этот же момент показывают

$$t'_{А'} = \frac{x'}{c} = \frac{x - vt}{c \sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad (1.2)$$

то между ними разница показаний будет $\Delta t' = t'_{Д'} - t'_{А'} = \frac{2vt}{c \sqrt{1 - v^2/c^2}}$. Или с учётом, что $t = \frac{x}{c}$, запишем $\Delta t' = \frac{2xv}{c^2 \sqrt{1 - v^2/c^2}}$. Здесь $\frac{2x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = Д'А'$ есть собственное расстояние в СК', разделяющее эти точки.

Тогда сразу же можно сделать вывод: если в ИСО, динамически 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.

2. Преобразования Лоренца

Наш рис. 1.2 и выполненные по нему выше расчёты позволяют нам просто и наглядно получить и форму преобразования (пересчёта) координат и показаний часов от АСО к ИСО и наоборот. Это так называемые преобразования Лоренца (ПЛ), роль которых ортодоксальной трактовкой СТО слишком преувеличена. Они не имеют никакого практического применения, но иногда полезны нам сугубо в теоретическом плане.

Так как эталоны длины по осям У-ов и Z-ов а обеих системах реально одинаковые, то отсюда $y' = y$ и $z' = z$. А связь между координатами по осям Х-ов уже фактически получена нами в

выражении (1.2). Так как точка A' взята нами произвольно, то из него сразу же следует, что и для других точек $x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$. (2.1)

Если, например, представить себе, что против точки D' в АСО находится точка D с координатой $-x$, то для координаты точки D' получим $x'_{D'} = \frac{-x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$.

Опять же из показаний часов для произвольной точки A' следует связь $t' = \frac{x'}{c} = \frac{x - vt}{c\sqrt{1 - v^2/c^2}}$. А так как $x/c = t$, то $t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$. (2.2)

Если учесть, что при рассмотрении из ИСО относительного движения АСО, её скорость становится $-v$, то из (2.1) и (2.2) сразу же получим обратные преобразования $x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ и $t = \frac{t' + vx'/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$. (2.3)

3. Теоретически мыслимое П-В в движущейся ИСО

Итак, показания часов в уже готовой ИСО будут *отличаться* друг от друга вдоль направления её *собственного* динамического движения. Все часы имеют одинаковый ход. И хотя их показания *согласованы* между собой с помощью световых сигналов, но *не синхронизированы*, как считал Эйнштейн, т.е. *не идут в фазе*. Вот его слова: «Совокупность показаний всех этих часов, идущих в фазе друг с другом, и составит то, что мы назовём физическим временем» [6, т.1, с. 149]. А так как СК' не имеет такой «совокупности показаний часов, идущих в фазе друг с другом» по всему своему пространству, то и *не имеет своего единого физического времени* как такового. Поэтому Лоренц и назвал его «местным временем», т.е. *условным*. В ИСО нет и понятия «ход времени», но есть *ход часов*, который *реально замедлен* в сравнении с ходом часов в АСО.

Каждая точка ИСО в любой момент времени кроме своих координат имеет ещё и показания часов в ней. В этом смысле ИСО представляет собой определённую четырёхмерную измерительную структуру *пространство-время* (П-В). Но, что особенно выглядит парадоксально, такое П-В в ортодоксальной теории *фактически* лишь *мыслится* и якобы не может быть реализовано на практике. Оно *мистическим образом может проявить себя лишь по отношению к «покоящейся ИСО»*. Но оно ей при этом совершенно не нужно.

Покажем наглядно, как П-В должно *реально мыслиться* в СТО в динамически движущейся ИСО, рис. 3.1. А далее мы увидим, что оно и нужно именно самой этой системе для «внутреннего употребления».

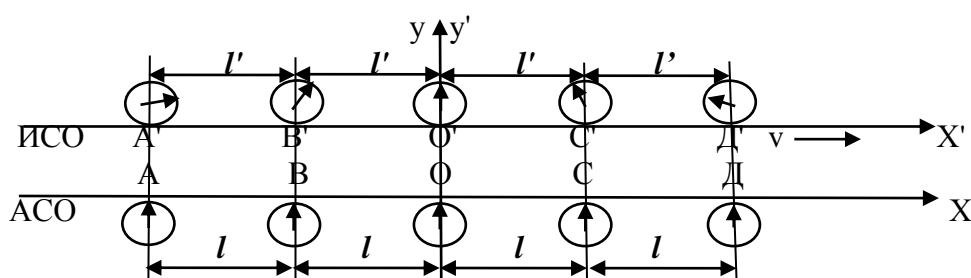


Рис. 3.1. Единые показания на всех часах в материальном пространстве АСО и пустое относительное (координатное) метрическое П-В динамически движущейся ИСО.

То, что показано на рисунке 3.1, 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». То есть теоретически мыслимую СО с её реальным *физическим* (материальным) пространством подменяют некоторой *субъективно* выделенной (иначе, *условно назначенной*) СО,

В изображённый на рис. 3.1 момент, когда начала СК обеих систем совпали, в их точках О и О' показания часов принимаются за нулевые. А поскольку в АСО время *едино*, то и показания всех других часов тоже нулевые. Тогда в движущейся ИСО слева от точки О' 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.

Это даёт возможность регистрировать в реально движущейся ИСО разные ТС *по отношению к такому её П-В* в явлениях, *объективно реально* протекающих в реальном физическом пространстве, и уже по ним делать свои выводы.

4. Проведение мысленных экспериментов в ИСО и их анализ

Хочу ещё раз подчеркнуть, что все природные явления протекают в реальном пространстве, которое мы для своих целей условились считать однородным и изотропным. И, конечно же, проще всего нам было бы изучать их из реальной АСО. Но у нас такой возможности нет, а поэтому мы вынуждены использовать реально движущиеся СО. Поэтому в самом начале уже и было сказано, что СТО является теорией, дающей нам *методологию* принципиально правильного подхода к изучению физических явлений (особенно, *быстро протекающих*) с помощью наших ИСО; методологию, исключающую то, что к самим явлениям не относится. Вот её мы далее и рассмотрим.

Итак, в ИСО мы можем в своих экспериментах регистрировать лишь точечные события в некоторые *моменты* по разноместным или одним и тем же часам и находить разность показаний между ними как некоторое число с размерностью времени. Это вовсе не означает, что в ИСО между зарегистрированными моментами протекло и столько же времени, так как такого понятия («течение времени») в ИСО просто нет. Но именно такие разности показаний часов и есть то, что и нужно нам для описания физических явлений по отношению к ИСО. **При этом мы получим ту же форму физических законов, как если бы вели свои регистрации точечных событий в АСО. То есть узнаем законы, по которым они и протекают сами по себе (объективно реально). В этом и есть суть ПО.**

Отсюда и весь *физический смысл* СТО заключается в том, что она показывает нам, что мы можем познавать **законы природы**, обходясь без реальной АСО. А все параметры физического явления, полученные в ИСО из анализа ТС, следует *условно* рассматривать как абсолютные измерения. Для этого ТС, полученные по отношению к своему П-В, мы *комбинируем* затем в *условные* картинки явления так, как если бы это были реальные ТС в реальной АСО, в её П и В. То есть, чтобы явление на картинке предстало *как бы мгновенно* (иначе условно одновременно). Другими словами, картинки мы должны комбинировать по *одинаковым показаниям часов* в разных ТС. И хотя они не будут отражать реальную картинку явления в ИСО, но **при этом в соответствии с ПО мы будем получать ту форму законов, по которым явления и протекают объективно реально в самой Природе.**

Например, длину движущегося твёрдого стержня мы в своей ИСО должны *условно измерять* так, как если бы оба его конца мы зарегистрировали мгновенно (одновременно). То есть мы измеряем не сам стержень, а как бы оставленные им *условно одновременные «следы»* (ТС) в нашей ИСО. **И при этом получаем не измеренную длину стержня, а закон изменения протяжённости тела при его абсолютном движении в реальном физическом пространстве.**

Покажем это наглядно. Но вначале рассмотрим, *как* можно было бы измерить *длину быстро движущегося* стержня в АСО.

4.1. Измерение длины движущегося стержня в АСО

Для этого мы должны в какой-либо один и тот же *момент* (т.е. *реально* одновременно) зарегистрировать положение его концов *a* и *b* на оси X, рис. 4. Дальше упоминать, что любая регистрация в точке это и есть ТС в ней, без особой надобности мы не будем.

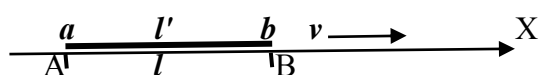


Рис. 4.1. Положение движущегося стержня *ab* в АСО вдоль оси X в некоторый временной момент $t_A = t_B$.

Показания часов t_A в точке A и показания часов t_B в точке B одинаковые, т.е. в АСО *объективно реально одновременные*. Зарегистрированные координаты точек x_A и x_B , а следовательно, *протяжённость* (она же *длина*) движущегося стержня в АСО равна $x_B - x_A = l$. С другой стороны, у стержня есть собственная длина l' , измеренная в покое в СК', движущейся со стержнем, её *укороченным* эталоном. Тогда мы сразу же получим соотношение $l = l' \sqrt{1 - v^2/c^2}$. (4.1)

Обратим внимание на то, что, с одной стороны, выражение (4.1) есть результат *реального 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*. А 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 в каждом конкретном случае.

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 СО. Поэтому размеры разных тел всегда находятся в *объективно реальном однозначном* по протяжённости отношении друг к другу (больше, меньше или равны).

Но при этом практически всегда, может быть даже в подсознании, под протяжённостью мы всё же мыслим 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* численно всё же привязан к АСО и её эталону.

Например, на рис. 4.1 ab имеет такую же протяжённость как АВ. И через отношение к абсолютному 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 $ab = l'$.

4.2. Измерение из ИСО длины движущегося стержня.

Рассмотрим, например, как будет из ИСО «измерена длина» твёрдого стержня, покоящегося в АСО, теперь уже через регистрации ТС с помощью П-В движущейся ИСО и их правильный анализ. 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 ортодоксальной теории - «выполнить регистрацию концов стержня в ИСО *одновременно*». Затем через засечки координат и найти «измеренную длину». То есть всё делается точно так же, как мы делали это в АСО.

Итак, измеряемый стержень покоится в АСО и имеет собственную длину l . Но поскольку сама ИСО движется со скоростью v вправо, то стержень движется как бы в ней с такой же скоростью влево, рис. 4.2.

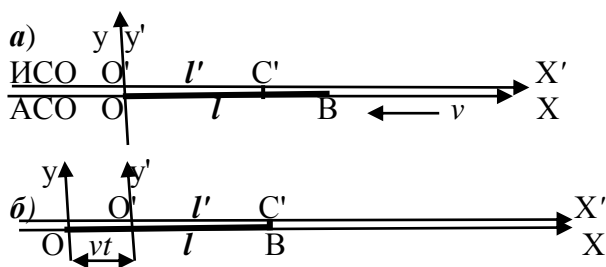


Рис. 4.2. «Измерение» из ИСО «длины» стержня ОВ, покоящегося в АСО.

В момент а) показания часов в обеих системах принимаем за нулевые. Тем самым уже засекаем конец стержня О в ИСО. Возвращаемся к нашему рис. 3.1 и видим, что в этот момент а) 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 В с координатой l , когда часы в C' уйдут вперёд и будут показывать $t'_{C'} = 0$.

В момент а) часы в точке C' имеют показания $t'_{C'} = -l'v/c^2$. Значит к моменту б) второй засечки все часы в ИСО должны уйти вперёд на $\Delta t' = l'v/c^2$. А так как часы АСО идут быстрее, то в момент б) часы в В будут показывать $t_B = \frac{l'v/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$. (4.2)

И тогда из ПЛ $t'_{C'} = \frac{t_B - lv/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$. А так как в этот момент $t'_{C'} = 0$, то отсюда $t_B = lv/c^2$. Подставив это значение в (4.2), получим $l' = l\sqrt{1-v^2/c^2}$. (4.3)

То есть из анализа, выполненных в ИСО якобы *одновременных* засечек, у ортодоксальных релятивистов следует, что «измеренная длина» l' движущегося стержня численно меньше его собственной численной длины l , измеренной в состоянии покоя. Но отрезок $O'C'$ имеет в АСО длину $l_{реал} = l'\sqrt{1-v^2/c^2}$. А если подставить сюда l' из (4.3), то получим $l_{реал} = l(1-v^2/c^2)$. И теперь мы *наглядно видим*, как всё обстоит на самом деле. Как бы измеряя *объективно реально* меньшим (чем l) в $1/(1-v^2/c^2)$ раз отрезком (инструментом) саму длину l , мы

вдруг находим, что уже она якобы в $1/\sqrt{1-v^2/c^2}$ раз меньше самого инструмента измерения. И в ортодоксальной СТО это выглядит как чудо, которое «объясняется» в теории как необыкновенные свойства пространства и времени.

А на самом деле это следует понимать так, что в ИСО выполнено **не измерение** «длины» относительно (чисто кинематически) движущегося стержня, а согласно с ПО установлена **форма закона изменения протяжённости** твёрдого тела при его **собственном** (абсолютном) движении. И никаких **чудес** ни с пространством, ни с временем при этом не происходит.

Если в ИСО построить картинку «одновременного измерения» длины стержня, покоящегося в АСО, то она будет такой, рис. 4.3.

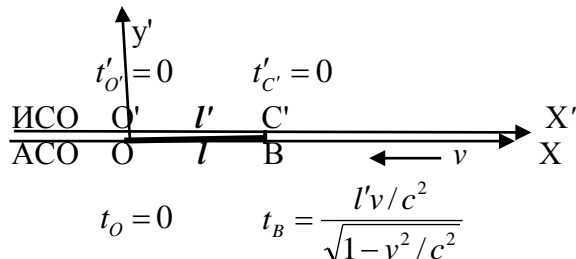


Рис. 4.3. Условная картинка в ИСО «одновременного измерения» длины l стержня, покоящегося в АСО.

4.3. Измерение из ИСО хода часов, покоящихся в АСО.

Для начала покажем, как наблюдатели в движущейся ИСО измерят относительную скорость АСО, которая теперь для них направлена влево, рис. 4.4 (как бы слегка переделанный наш рис. 3.1).

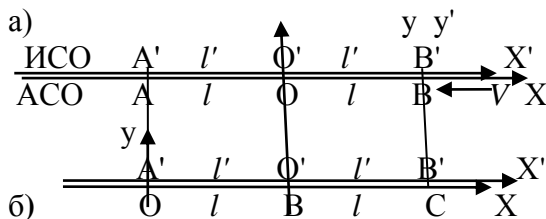


Рис. 4.4. Регистрация в ИСО относительного смещения точки O с её часами.

После регистрации момента *а*), когда совпадают оси Y и Y' и точки O и O' и в системах согласовываются между собой начальные показания часов, далее регистрируется, например, момент б), когда совпадут точки A' и O . В момент первой регистрации часы ИСО в точке A' имели показания $t'_{A'} = vl'/c^2$. 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 А' покажут уже $t'_{A'} = Vl'/c^2 + l \sqrt{1 - V^2/c^2} / V$. А так как согласно с (1) $l = l' \sqrt{1 - V^2/c^2}$, то показания часов в А' будут $t'_{A'} = Vl'/c^2 + l'(1 - V^2/c^2)/V = l'/V$. И скорость АСО относительно ИСО будет определена как $l'/t'_{A'} = V$, т.е. такой же, как и абсолютная скорость ИСО в АСО. Твёрдо запомним это, что тоже вытекает из ПО.

Далее, посмотрим, как бы мы измеряли ход часов ИСО, например, часов в точке О', движущихся в АСО. Для этого мы бы сравнили их показания сначала в момент а) с часами в О, а затем в момент б) с часами в В. И нашли бы, что $\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - V^2/c^2}$, так как часы в ИСО идут медленнее.

Точно так же будем сравнивать и ход часов АСО с их ходом в ИСО. Теперь в момент а) часы в О имеют показания $t_o = t'_{o'} = 0$. В момент б) они уже находятся против часов в А' и имеют показания $\Delta t = l/V$, А часы в А' показывают $t'_{A'} = \Delta t' = l'/V$. Отсюда $l/\Delta t = l'/\Delta t'$. А так как $l = l' \sqrt{1 - V^2/c^2}$, то $\Delta t = \Delta t' \sqrt{1 - V^2/c^2}$. И «измерение» даёт результат обратный предыдущему, т.е. теперь уже часы АСО как бы идут медленнее, чем часы ИСО. И этот, «поражающий воображение» результат, релятивисты называют «относительным замедлением времени». Якобы таковы необыкновенные свойства пространства и времени.

Но фактически при этом допускается элементарная ошибка в оценке результата. Наблюдатели в ИСО лишь условно могут считать, что они «измерили время» движения, на которое якобы и ушли часы в О, как $\Delta t = \Delta t' \sqrt{1 - V^2/c^2}$. «Измерили время» взято в кавычки, потому что $t'_{A'} = \Delta t' = l'/V$ не есть длительность движения, которая по ходу часов ИСО фактически равна $\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - V^2/c^2}$. И напомним ещё раз, что часы в А' уже в начальный момент а) имели показания $t'_{A'} = Vl'/c^2$.

Тогда 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 ТС в ней с помощью её П-В. При этом нам не

понабилось *назначать* ИСО «покоящейся системой», а АСО «движущейся». И хотя мы рассматриваем относительное движение АСО по отношению к ИСО, они у нас в теории остаются такими, как есть *реально*. И никаких *чудес* ни с пространством, ни с временем при этом *не происходит*. И в этом *объективная ценность* СТО.

4.4. Измерение скорости движения тела в ИСО.

Пронаблюдаем мысленно из АСО, как будет измеряться в ИСО скорость движения некоторого условно точечного тела А, которое имеет *собственную* скорость движения в АСО равную $u > v$. Собственная скорость движения ИСО равна v , рис. 4.5.

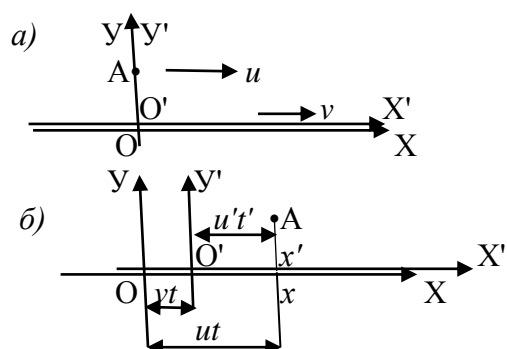


Рис. 4.5. Измерение скорости тела А в ИСО.

Так как в момент а) тело А находится на оси Y' , а в момент б) в точке с координатой x' , то его скорость в ИСО будет «измерена» как $u' = x'/t'$, где t' - собственное «время» движения ИСО от момента а) до момента б). Слово «измерена» взято в кавычки, так как это понятие в ИСО всего лишь *условно*. Оно условно потому, что «время» (тоже в кавычках) не является *длительностью* движения даже по собственным часам ИСО. Поэтому найденная скорость $u' = x'/t'$ является *условной* относительной скоростью тела.

Так как в АСО реальная длительность движения t , а часы в ИСО идут замедленно, то в точке O' часы уйдут вперед на $\Delta t' = t\sqrt{1 - v^2/c^2}$. В момент а) часы в плоскости с координатой x' по показаниям отстают от часов в O' на vx'/c^2 . И в момент б) их показания можно записать как $t' = t\sqrt{1 - v^2/c^2} - vx'/c^2$, а координату точки А можно выразить как $x' = \frac{t(u - v)}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$. Тогда, подставляя это значение в формулу для скорости

u' и «времени» t' , получим

$$u' = \frac{t(u-v)}{\sqrt{1-v^2/c^2} (t\sqrt{1-v^2/c^2} - vt(u-v)/c^2 \sqrt{1-v^2/c^2})} = \frac{t(u-v)}{t(1-v^2/c^2 - vu/c^2 + v^2/c^2)}.$$

$$\text{Откуда } u' = \frac{u-v}{1-vu/c^2}, \text{ а уже отсюда } u = \frac{v+u'}{1+vu'/c^2}. \quad (4.4)$$

Данные формулы в ортодоксальной СТО *ошибочно* называют «формулами сложения скоростей». Но, во-первых, скорость u' является *условной*. А, во-вторых, они выражают лишь *переход* (перерасчёт) от скорости тела в АСО к *условной* скорости тела в ИСО, и наоборот. Внутри АСО все её скорости складываются между собой как обычно, а поэтому и в ИСО в соответствии с ПО все её внутренние условные скорости тоже складываются между собой как обычно.

Если бы мы «измеряли», например, скорость распространения светового сигнала в ИСО, который реально в АСО имеет скорость $u=c$, то из (4.4) получили бы его условную скорость $u' = \frac{c-v}{1-vc/c^2} = c$.

Именно такой мы *условно* и принимаем скорость света в ИСО уже при её построении в своей теории. И при этом никаких чудес с распространением света, как в ортодоксальной СТО, не происходит.

Кроме того, так как скорость распространения света в АСО *от точки излучения* в соответствии с ППСС во всех направлениях равна c , независимо от скорости v движения источника, то относительно источника в направлении его движения скорость света будет $c-v$, а против его движения будет $c+v$. Точно так же, если источник движется в ИСО с *условной* скоростью v' , то в соответствии с ПО и в ней свет будет распространяться относительно источника и с *условной* скоростью $c-v'$, и со скоростью $c+v'$, что мы и «наблюдаем» и в ортодоксальной СТО.

И, наконец, последнее замечание. Если бы на нашем рис. 4.5 тело А двигалось в ИСО вдоль оси Y' с абсолютной скоростью u , то его уже *реальная* (а не условная) *собственная* (т.е. по эталонам ИСО) скорость была бы $u' = u/\sqrt{1-v^2/c^2}$, (4.5)

так как $\Delta y' = \Delta y$, а $\Delta t' = \Delta t \sqrt{1-v^2/c^2}$. Здесь, как и в (4.4), собственная скорость u' в ИСО выражена через абсолютные скорости u и v в АСО.

4.5. Измерение массы движущегося тела в ИСО.

В приложении 1.1 (с. 50) выражение $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ показывает как реально изменяется масса тела при его абсолютном движении в реальном пространстве. Покажем, что точно такую же зависимость массы от скорости в соответствии с ПО 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, а значит, движущегося по отношению к ИСО.

Допустим, что в 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 массы изменились 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} . В результате этого тело А приобрело в ИСО импульс $P'_{yA} = m_{0A}v'_{yA}$. Данная ситуация показана на рис. 4.6.

Скорость v_{yA} тела А в АСО при этом будет $v_{yA} = v'_{yA} \sqrt{1-v^2/c^2}$, 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

$$P_{yA} = m_A v_{yA} = \frac{m_{0A}}{\sqrt{1-v^2/c^2}} v_{yA} = m_{0A} v'_{yA} = P'_{yA}, \text{ т.е. будет таким же, как и в ИСО.}$$

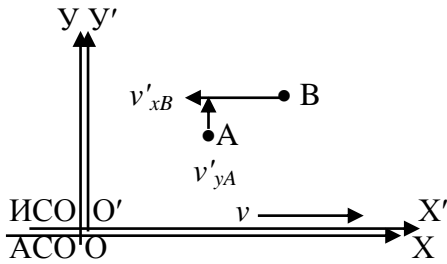


Рис. 4.6. Сближение тел А и В перед столкновением. Ситуация показана с точки зрения ИСО.

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} , равную $v_{yB} = \frac{P_{yA}}{m_{0B}} = \frac{P'_{yA}}{m_{0B}}$. (4.6).

В ИСО эта скорость будет оценена следующим образом.

За некоторое время после столкновения с телом А тело В пройдет 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 пройдет 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. 4.7). Следовательно, абсолютное время движения тела В после столкновения с телом А будет $\Delta t = \Delta x/v = \Delta t' / \sqrt{1 - v^2/c^2}$, где $\Delta t'$ - ход часов в ИСО при этом.

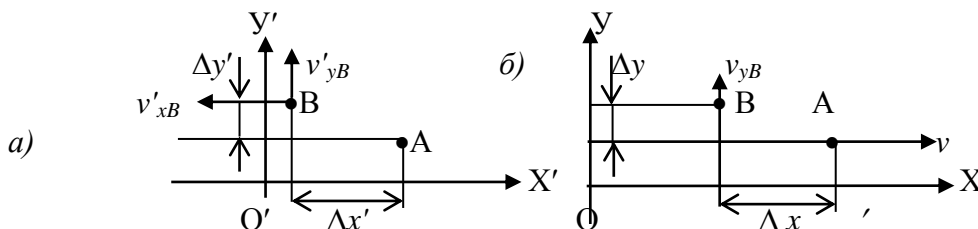


Рис. 4.7. Движение тел А и В после столкновения: а) с точки зрения ИСО; б) с точки зрения АСО.

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 (4.6), получим, что $v'_{yB} = \frac{P'_{yA}}{m_{0B}} \sqrt{1 - v^2 / c^2}$.

Откуда масса тела В в ИСО будет оценена как $m'_B = \frac{P'_{yA}}{v'_{yB}} = \frac{P'_{yA} m_{0B}}{P'_{yA} \sqrt{1 - v^2 / c^2}} = \frac{m_{0B}}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}$. 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. 4.6. 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 приобретёт в АСО скорость $v_{yB} = \frac{P_{yA}}{m_A} = \frac{P'_{yA}}{m_{0B} \sqrt{1 - v^2 / c^2}}$. (4.7).

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 $\Delta t' = \Delta x' / v'_{xB}$. (4.8).

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 (4.7), получим, что $\Delta t = \frac{\Delta y}{P'_{yA}} \frac{m_{0B}}{\sqrt{1 - v_{xB}^2 / c^2}}$. (4.9).

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 (4.9), получим, что $\Delta x = \frac{\Delta y \cdot m_{0B}(v + v_{xB})}{P'_{yA}\sqrt{1 - v_{xB}^2/c^2}}$. (4.10).

Так как $\Delta x' = \frac{\Delta x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$, а $v'_{xB} = \frac{v + v_{xB}}{1 + vv_{xB}/c^2}$ (по правилу пересчёта скоростей в СТО) то, возвращаясь к формуле (4.8) 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 (4.10) $\Delta t' = \frac{\Delta y \cdot m_{0B}(1 + vv_{xB}/c^2)}{P'_{yA}\sqrt{1 - v^2/c^2}\sqrt{1 - v_{xB}^2/c^2}}$. Но так как $\frac{\sqrt{1 - v^2/c^2} \cdot \sqrt{1 - v_{xB}^2/c^2}}{1 + vv_{xB}/c^2} = \sqrt{1 - v'^2_{xB}/c^2}$, то в конечном счёте

$$\Delta t' = \frac{\Delta y \cdot m_{0B}}{P'_{yA}\sqrt{1 - v'^2_{xB}/c^2}}.$$

Тогда с учётом того, что $\Delta y' = \Delta y$, скорость v'_{yB} определится как

$v'_{yB} = \frac{\Delta y'}{\Delta t'} = \frac{P'_{yA}}{m_{0B}}\sqrt{1 - v'^2_{xB}/c^2}$. А отсюда масса тела В в ИСО будет оценена

как и в предыдущем случае:

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

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

5. Преобразование сил между АСО и ИСО.

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 $\vec{P} = \frac{m_0\vec{v}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$. (5.1)

При малых скоростях $v \ll c$ последнее выражение переходит в классическое $\vec{P} = m_0\vec{v}$. (5.2).

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

$$F = \frac{dp}{dt} = m_0 \frac{dv}{dt}, \quad (5.3)$$

так как в этом случае $dp = m_0 dv$. Но по мере возрастания скорости тела, а следовательно, и внешнего импульса, его движение все 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 (5.3), так как его масса считается неизменной. В релятивистской же механике два крайних случая действия силы различаются. Это непосредственно вытекает из уравнений (5.1) и (5.2).

Если сила действует на движущееся тело по направлению его скорости (обозначим её F_{\parallel}) и изменяет лишь её величину, уравнение (5.1) с учётом (5.2) можно записать как

$$F = \frac{dp_{\parallel}}{dt} = m_0 \frac{d}{dt} \left(\frac{v}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \right) = \frac{m_0}{(1-v^2/c^2)^{3/2}} \cdot \frac{dv}{dt}. \quad (5.4)$$

А дифференциал внешнего импульса при этом запишется как

$$dp_{\parallel} = \frac{m_0}{(1-v^2/c^2)^{3/2}} dv. \quad (5.4a).$$

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

$$F_{\perp} = \frac{dp_{\perp}}{dt} = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \cdot \frac{dv}{dt}, \quad (5.5)$$

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 (5.4) и (5.5) 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 (5.4) 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 её 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, 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 на элементарном уровне присущ импульс mc .

После этих предварительных замечаний рассмотрим вопрос о преобразовании численного значения величины силы при переходе от одной инерциальной системы отсчёта 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 реальном 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, $dp_x = m_0 dv_x$. (5.6)

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 преобразования 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 $dv'_x = dv(1 - v^2/c^2)$. (5.7)

В соответствии с (5.4a) 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 (5.7), получим, что $dp'_x = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \cdot dv'_x$, а с учётом (5.6) $dp'_x = \frac{dp_x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$. (5.8)

Так как с точки зрения наблюдателей в ИСО часы в АСО якобы идут замедленно, реальному промежутку времени в АСО Δt в ИСО будет соответствовать промежуток времени $\Delta t' = \Delta t / \sqrt{1 - v^2/c^2}$. Или, снова переходя к дифференциалам, $dt' = dt / \sqrt{1 - v^2/c^2}$. (5.9)

Тогда из уравнений (5.8) и (5.9) получим, что

$$\frac{dp'_x}{dt'} = \frac{dp_x}{dt}, \text{ или } F'_x = F_x. \quad (5.10)$$

Если приложить к свободному и неподвижному в АСО телу силу F_y , направленную по нормали к направлению скорости 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

$$dp_y = m_0 dv_y. \quad (5.11)$$

Если тело приобретает в АСО некоторую незначительную скорость v_y , то в ИСО скорость v'_y будет

$$v'_y = \frac{dy'}{dt'} = \frac{dy}{dt} \sqrt{1 - v^2/c^2} = v_y \sqrt{1 - v^2/c^2}. \quad (5.12).$$

Здесь мы использовали соотношение (5.9) и тот факт, что $dy' = dy$ (последний, в свою очередь, следует из того, что $\Delta y' = \Delta y$).

Дифференцируя (5.12) при постоянном значении скорости v , получим, что $dv'_y = dv_y \sqrt{1 - v^2/c^2}$.

$$(5.13)$$

А из равенства (5.5) $dp'_y = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \cdot dv'_y$. Подставляя в это уравнение dv'_y из (5.13) с учётом (5.11), получим, что $dp'_y = dp_y$. Тогда с учётом (5.9) $\frac{dp'_y}{dt'} = \frac{dp_y}{dt} \sqrt{1 - v^2/c^2}$, или $F'_\perp = F_\perp \sqrt{1 - v^2/c^2}$.

$$(5.14)$$

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 v движения ИСО, и повторить в точности все те же рассуждения, что и выше в случае массы, неподвижной в АИСО, 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 $\frac{dp_x}{dt} = \frac{dp'_x}{dt'}$ и $F'_\parallel = F_\parallel$.

$$(5.16).$$

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

$$(5.17)$$

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 (5.4a) можем записать, что

$$dp_x = \frac{m_0}{(1-v^2/c^2)^{3/2}} \cdot du, \quad (5.18)$$

где u – скорость движения тела в АСО. Эта скорость в соответствии с правилом преобразования скоростей в СТО будет $u = \frac{v+v'}{1+vv'/c^2}$. (5.19).

Дифференцируя последнее равенство при постоянной скорости v , найдём, что $du = dv' \frac{1-v^2/c^2}{(1+vv'/c^2)^2}$. (5.20)

С возрастанием p_x возрастает и внешний импульс p'_x тела в ИСО.

А уравнение (5.4a) в ИСО примет вид $dp'_x = \frac{m_0}{(1-(v')^2/c^2)^{3/2}} dv'$. (5.21)

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

$$\Delta x' = v' \Delta t'. \quad (5.22)$$

Это расстояние из АСО будет измерено как $\Delta x = \Delta x' \sqrt{1-v^2/c^2}$. (5.23)

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

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{u-v}. \quad (5.24)$$

А используя равенства (5.19), (5.22), (5.23) и (5.24), найдем, что

$$\Delta t' = \Delta t \cdot \frac{1-uv/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}. \text{ Или, переходя к дифференциалам,}$$

$$dt' = dt \cdot \frac{1-uv/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}. \quad (5.25)$$

Из равенства (5.18) 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 (5.20) и значение dt из (5.25), 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 (5.21) и проведя

ряд преобразований, с учётом равенства (5.19) в конечном виде получим, что $\frac{dp_x}{dt} = \frac{dp'_x}{dt'}$, или $F_{\parallel} = F'_{\parallel}$. (5.26)

Если приложить к телу в АСО силу F_y , нормальную к направлению скорости его движения, то в соответствии с равенством (5.5) для АСО получим, что $dp_y = \frac{m_0}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \cdot du_y$. (5.27)

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 (5.5) запишем, что

$$dp'_y = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v')^2/c^2}} \cdot dv'_y, \quad (5.28)$$

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 (5.25) 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

$$dv'_y = dv_y \cdot \frac{\sqrt{1-v^2/c^2}}{1-uv/c^2}. \quad (5.29)$$

Тогда, используя равенства (5.25), (5.27), (5.28) и (5.29), можем записать после некоторых преобразований:

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

А подставляя в последнее равенство значение u из (5.19) и тоже после ряда алгебраических преобразований, получим, что

$$\frac{dp_y}{dt} = \frac{dp'_y}{dt'} \cdot \frac{\sqrt{1-v^2/c^2}}{1+vv'/c^2}, \quad (5.30)$$

$$\text{или } F_{\perp} = F'_{\perp} \cdot \frac{\sqrt{1-v^2/c^2}}{1+vv'/c^2}. \quad (5.31)$$

Если в равенство (5.30) подставить значение v' из (5.19), 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

$$F_{\perp} = F'_{\perp} \cdot \frac{(1-uv/c^2)}{\sqrt{1-v^2/c^2}}. \quad (5.32)$$

А подстановка в равенство (5.30) значения v из (5.19) даёт $\frac{dp_y}{dt} = \frac{dp'_y}{dt'} \cdot \frac{\sqrt{1-u^2/c^2}}{\sqrt{1-(v')^2/c^2}}$, или $F_{\perp} = F'_{\perp} \cdot \frac{\sqrt{1-u^2/c^2}}{\sqrt{1-(v')^2/c^2}}$. (5.33)

Сравнивая формулы (5.10), (5.16) и (5.26), 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 (5.15) для поперечной составляющей силы, то она вытекает из формул (5.32) и (5.33). Действительно, если в последних принять, что $u=0$ (тело в АСО неподвижно), то из (5.32) получим выражение (5.15), а из (5.33) 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 (5.15). Аналогично можно показать, что формула (5.17) вытекает из формул (5.31) или (5.33), 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 (5.19) 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 формула (5.31) запишется как

$$F_{\perp} = F'_{\perp} \frac{\sqrt{1-v^2/c^2}}{1-vv'/c^2}, \quad (5.31a)$$

а формула (5.32) – как $F_{\perp} = F'_{\perp} \frac{1+uv/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$. (5.31б)

6. Измерение и преобразование электромагнитных полей.

Напомним, что неподвижный в вакууме реального пространства заряд q создаёт вокруг себя только электрическое поле, изменяющееся

в АСО по закону
$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\vec{r}}{r^3}, \quad (6.1)$$

где: \vec{E} - напряжённость электрического поля; ϵ_0 - диэлектрическая постоянная вакуума; r – расстояние от заряда до точки поля (заряд условно считается точечным); направление радиус-вектора \vec{r} для положительного q 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 вакууме реального пространства, то его электрическое поле изменяется, а также появляется магнитное поле, которое вместе с электрическим и образуют электромагнитное поле движущегося заряда. Поля, движущегося заряда, находятся из уравнений Максвелла для вакуума реального пространства, которые в векторной форме в АСО можно записать как:

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \vec{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0}; & \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0; & c^2 \nabla \times \vec{B} &= \vec{j} + \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}; \end{aligned}$$

где: ρ - плотность электрического заряда; \vec{B} - магнитная индукция поля; \vec{j} – плотность электрического тока сквозь замкнутый контур; ∇ - некоторый векторный оператор «набла».

Решение этих уравнений имеет вид:

$$\vec{E} = -\nabla\varphi - \partial\vec{A}/\partial t \quad (6.2)$$

$$\vec{B} = \nabla \times \vec{A}, \quad (6.3)$$

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

Полученные решения обязаны удовлетворять [6. с. 94] уравнениям:

$$\nabla^2 \varphi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}; \quad (6.4)$$

$$\nabla^2 \vec{A} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} = -\frac{\vec{j}}{\varepsilon_0 c^2}; \quad (6.5)$$

$$\text{а также условию } \nabla \cdot \vec{A} = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial \varphi}{\partial t}. \quad (6.6)$$

Если во всех точках АСО известна плотность зарядов $\rho(x, y, z, t)$ и плотность тока $\vec{j}(x, y, z, t)$, то решения уравнений (6.4) и (6.5), удовлетворяющие условию (6.6), запишутся как:

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

$$\vec{A}(x_1, y_1, z_1, t) = \int \frac{\vec{j}(x_2, y_2, z_2, t - r_{12}/c)}{4\pi\varepsilon_0 c^2 r_{12}} dV_2;$$

где: r_{12} – расстояние от точки 1 с координатами x_1, y_1, z_1 , в которой находятся потенциалы поля, до точки 2 с координатами x_2, y_2, z_2 , в которой имеются заряды с плотностью ρ и токи с плотностью \vec{j} ; dV_2 – дифференциал объёма в точке 2.

Тогда поля \vec{E} и \vec{B} находятся дифференцированием потенциалов и подстановкой их в уравнения (6.2) и (6.3).

Для точечного заряда, движущегося в АСО с произвольной скоростью v ,

$$\varphi(t) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r'(1 - v/c)_{\text{зан.}}}, \text{ или } \varphi(x_1, y_1, z_1, t) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 (r - \vec{v} \cdot \vec{r}/c)_{\text{зан.}}},$$

$$\text{а } \vec{A}(x_1, y_1, z_1, t) = \frac{q\vec{v}/c^2}{4\pi\varepsilon_0 (r - \vec{v} \cdot \vec{r}/c)_{\text{зан.}}}.$$

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

$$\varphi(x, y, z, t) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \frac{1}{\left[\frac{(x - vt)^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} + y^2 + z^2 \right]^{1/2}} \text{ и } \vec{A} = \frac{\vec{v}}{c^2} \varphi.$$

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

Продифференцировав данные потенциалы и подставив полученные значения в уравнения (6.2) и (6.3), получим, что

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

$$E_y = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\sqrt{1-v^2/c^2}} \frac{y}{\left[\frac{(x-vt)^2}{1-v^2/c^2} + y^2 + z^2\right]^{3/2}} \quad (б); \quad (6.7)$$

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

$$\vec{B} = \frac{\vec{v}}{c^2} \times \vec{E}, \quad (6.8)$$

или $B_x = 0$ (6.8,а); $B_y = -\frac{v}{c^2} E_z$ (6.8,б); $B_z = \frac{v}{c^2} E_y$ (6.8,в).

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

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{(1-v^2/c^2)}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2} \sin^2 \alpha\right)^{3/2}}, \quad (6.9)$$

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 v и направлена параллельно ее оси X' , то и заряд в ИСО движется с той же скоростью, а следовательно, его поле \vec{E}' в плоскости $X'O'Y'$ должно иметь вид в соответствии с ПО и формулой (6.9). 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. 6.1, 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.

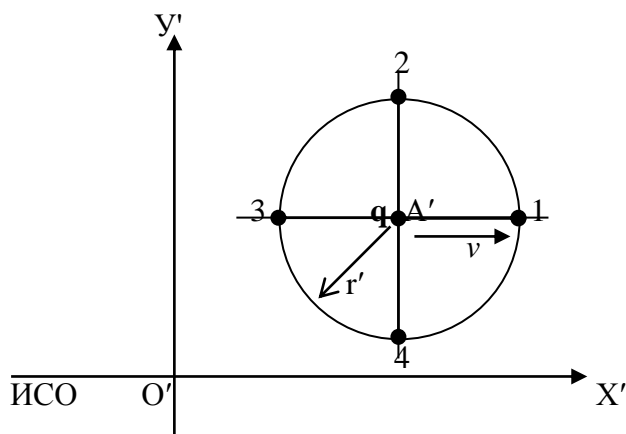


Рис. 6.1. Измерение в точках 1, 2, 3 и 4 электромагнитного поля заряда q , движущегося в ИСО с постоянной скоростью v . Заряд объективно реально неподвижен в АСО, которая здесь не показана.

Допустим, что в ИСО заряд оказался в точке A' при показаниях часов в ней t' . Следовательно, при таких же показаниях часов нужно выполнять и все замеры и 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 нужно делать лишь в точках 2 и 4.

Объективно реальная напряжённость электрического поля в точках 2 и 4 по модулю в соответствии с формулой (6.1) 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 $F'_1 = F_1 \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$. 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 (6.4б) для аналогичного случая в

АСО. Его можно сравнить и с тем, что мы получили бы в аналогичном случае в АСО по формуле (6.9) при значении $\alpha = \pi/2$.

В точке 1 напряжённость E'_1 фактически измеряют тогда, когда в точке A' часы будут показывать $t' - r'v/c^2$, а часы в точке 1 при этом как раз и покажут t' . Тогда фактически точка 1 отстоит от заряда на расстоянии r_1 , рис. 6.2.

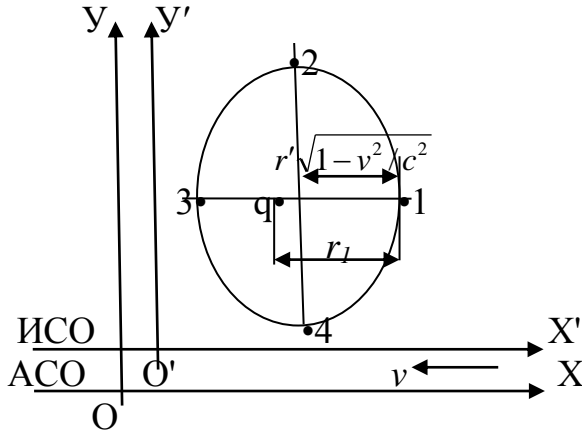


Рис. 6.2. Так выглядит в АСО измерение поля, проводимое в ИСО в её точке 1. Измерение выполняется, когда точка A' движущейся ИСО фактически ещё не дошла до заряда.

Это расстояние можно определить как $r_1 = r'\sqrt{1 - v^2/c^2} + v\Delta t$, (6.10) 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 (6.10), получим:

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

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

В точке 3 электрическую напряжённость E'_3 в ИСО измеряют фактически тогда, когда в точке A' часы имеют показания $t' + r'v/c^2$. Часы в 3 при этом показывают 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 как бы мгновенного (с точки зрения ИСО) положения заряда для положительных зарядов и направлено к заряду для отрицательных зарядов.

Таким образом, электрическое поле неподвижного в АСО заряда в движущейся ИСО воспринимается точно таким же, каким является электрическое поле движущегося в реальном пространстве заряда.

Но движущийся в реальном пространстве заряд создаёт и магнитное поле с индукцией \vec{B} , изменяющейся в пространстве вокруг заряда при постоянной скорости последнего по закону в соответствии с выражением (6.8). 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 (назовем его пробным q_0) с силой $\vec{F}_M = q_0 \vec{v}' \times \vec{B}$, (6.11)

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 (6.8а) 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. 6.1 также равна нулю.

Магнитное поле $\vec{B}'_{2,4}$ в точках 2 и 4 с учётом (6.8в) и (6.7б) по модулю

$$\text{должно быть равно } B'_{2,4} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r'^2} \frac{v/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \quad (6.12)$$

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 (6.11) и (6.12), если v' параллельна v , должна быть по модулю

$$\text{равна } F'_{M2,4} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r'^2} \frac{vv'/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \quad (6.13)$$

и для одноимённых зарядов направлена к заряду q . Убедимся, что такая сила в точках 2 и 4 для наблюдателя в ИСО как бы существует. Для этого воспользуемся формулой (5.31a) 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

$$(5.31,a) \text{ сила будет } F'_{\perp} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r'^2} \frac{(1 - vv'/c^2)}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \quad (6.14)$$

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

$$F'_{эл2,4} = q_0 E'_{2,4} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r'^2} \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \quad (6.15)$$

Тогда, вычитая из суммарной силы (6.14) силу (6.15) 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 (заряды одноименные).

Как видим, полученное выражение для силы $F'_{M2,4}$ по модулю в точности совпадает с выражением (6.13), 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 реальном пространстве заряд. Поэтому они считают, что в точках 2 и 4 существует поле магнитной индукции, которая из выражения (6.11) 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 (6.12), а в целом оно соответствует формуле (6.8).

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. 6.3 (картина с точки зрения АСО). ИСО вместе с неподвижным в ней зарядом q движется в АСО со скоростью v .

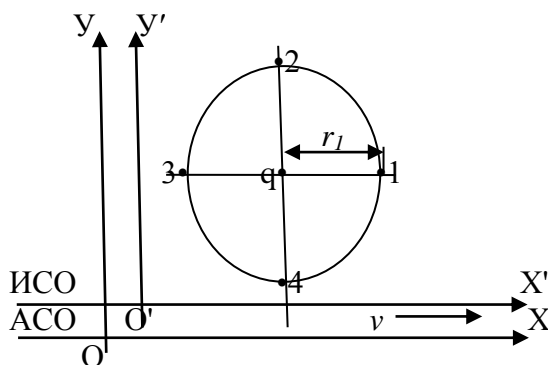


Рис. 6.3. Измерение электромагнитного поля в точках 1, 2, 3 и 4 с точки зрения АСО.

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).

Из выражения (6.7a) или (6.9) 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 $r_1 = r' \sqrt{1 - v^2/c^2}$ 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 $\vec{F}_{эл2,4} = q_0 \vec{E}_{2,4}$, где $\vec{E}_{2,4}$ - напряженность электрического поля, создаваемого зарядом q в точках 2 и 4.

Из выражения (6.7б) или (6.9) для точек 2 и 4 ($\alpha_2 = 90^\circ$ и $\alpha_4 = 270^\circ$) получим, что $E_{2,4} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$. (6.16)

А так как для точек 2 и 4 $r = r'$, то сила электрического взаимодействия будет $F_{эл2,4} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r'^2} \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$.

Магнитная сила притяжения в точках 2 и 4 в соответствии с (6.11) и (6.12) 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 $F_{2,4} = F_{эл2,4} - F_{M2,4} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r'^2} \sqrt{1-v^2/c^2}$. 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 (6.16) и \vec{B}_2 из (6.12) с учётом того, что $r = r'$, и проведя элементарные алгебраические упрощения, в АСО получим $F_2 = q_0 \left(\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} - \frac{uv}{c^2} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \right) = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{(1-uv/c^2)}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$.

Зная действующую в АСО силу и используя формулу (5.32), в соответствии с которой $F_1 = F'_1 \cdot \frac{(1-uv/c^2)}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$, 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.

Из рассмотрения данного пункта следует следующее общее заключение: уравнения электродинамики изначально имеют форму инвариантную в отношении их преобразования от АСО к ИСО и наоборот.

7. Эффект Доплера со светом.

В приложении уже показано, что в общем случае частоту излучаемого света от движущегося в АСО источника можно выразить

$$\text{формулой: } \nu = \nu_0 \frac{\sqrt{1-V^2/c^2}}{1 - \frac{V}{c} \cos \alpha}, \quad (7.1)$$

где: ν_0 - частота излучения от покоящегося в АСО источника; 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 (атомом), зависит от направления излучения в соответствии с классическим принципом Доплера, но отличается от последнего постоянным множителем $\sqrt{1-V^2/c^2}$. Тогда *собственная частота излучения*, движущимся атомом будет: $\nu'_0 = \nu_0 \sqrt{1-V^2/c^2}$. (7.2)

Собственная частота излучения атома при его движении в АСО уменьшилась ровно настолько, насколько замедляется ход эталонных часов в движущейся ИСО. Поэтому 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 условно замедляется и течение самого времени, если мы измеряем его по одним и тем же часам в ИСО.

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

Итак, полученная выше формула (7.1) 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 ход собственных часов в движущейся системе отсчёта замедлен.

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

$$\text{можно выразить формулой } \nu' = \nu_0 \frac{1 + \frac{V}{c} \cos \alpha}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, \quad (7.3)$$

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

Если приёмник движется прямо на источник света, то есть угол $\alpha = 0$, то формула (7.3) 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 (7.1), 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 будет принимать свет от движущегося источника под углом 90° к направлению движения, то по формуле (7.1) воспринимаемая частота будет $\nu'_0 = \nu_0 \sqrt{1-V^2/c^2}$. 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. Тогда из формулы (7.3) следует, что $\nu' = \frac{\nu_0}{\sqrt{1-V^2/c^2}}$. (7.4).

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 приемника, рис. 7.1. 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.

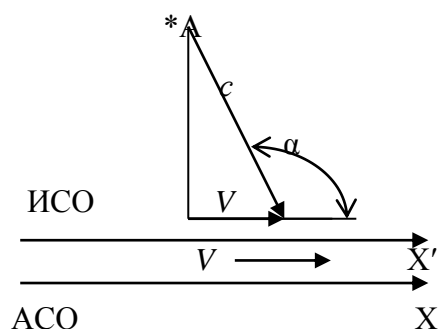


Рис. 7.1. Из АСО видно, что излучение от неподвижного в АСО источника А, воспринимаемое в ИСО перпендикулярно к её оси X' , фактически в АСО движется к ней под углом α .

В этом случае формула (7.3) даёт

$$v' = v_0 \frac{1 + \frac{V}{c} \cos \alpha}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} = v_0 \frac{1 - V^2/c^2}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} = v_0 \sqrt{1 - V^2/c^2},$$
 то есть точно такой же результат, как и по формуле (7.2).

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, рис. 7.2).

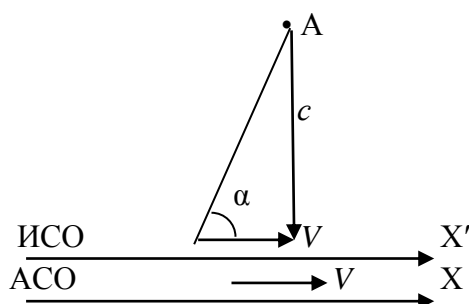


Рис. 7.2. Наблюдение в ИСО излучения от неподвижного в АСО источника А.

Из АСО видно, что если мы хотим воспринимать в ИСО излучение от неподвижного в АСО источника А 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 (7.4). 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. 7.3.

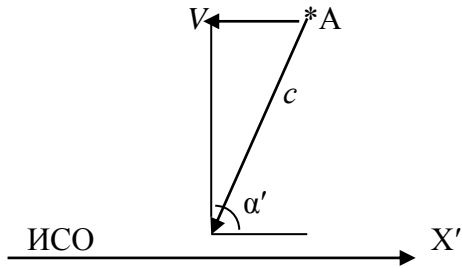


Рис. 7.3. Излучение от *неподвижного* в АСО источника А в ИСО наблюдается под углом α' . Источник воспринимается движущимся.

С другой стороны, если действительно в АСО принимать излучение от *движущегося* в ней источника так, как показано на рис. 7.3, то частота воспринятого света согласно формуле (7.1) 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 (7.4).

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 приемник света. Пусть источник излучает свет в направлении своего абсолютного движения. Тогда в соответствии с формулой (7.1) в АСО свет будет иметь частоту

$$\nu' = \nu_0 \frac{\sqrt{1 - V^2/c^2}}{1 - V/c}. \quad (7.5)$$

Но так как приемник в АСО движется и свет догоняет его по прямой, то воспринимаемая частота в соответствии с формулой (7.3) с

$$\text{учётом (7.5) определится как } \nu'' = \nu' \frac{1 - V/c}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} = \nu_0 \frac{\sqrt{1 - V^2/c^2} (1 - V/c)}{(1 - V/c) \sqrt{1 - V^2/c^2}} = \nu_0.$$

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 идет 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

$$(7.1) \text{ составит } \nu = \nu_0 \frac{\sqrt{1-u^2/c^2}}{1-u/c} = \nu_0 \sqrt{\frac{1+u/c}{1-u/c}}. \quad (7.11)$$

Приёмник движется в АСО со скоростью V . Значит, по формуле (7.3) с учётом (7.11) и того, что по формуле преобразования скоростей

$$u' = \frac{u-V}{1-uV/c^2},$$

частота воспринимаемого неподвижным в ИСО приёмником света будет:

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

Если же источник удаляется от приёмника, то проделанные аналогичным образом расчёты для воспринимаемой в ИСО

приёмником частоты дают выражение $\nu' = \nu_0 \sqrt{\frac{1-u'/c}{1+u'/c}}$. Если приёмник

принимает от движущегося источника излучение, направленное по нормали к оси x -ов, то частота воспринимаемого излучения будет

$$\nu' = \nu_0 \sqrt{1-u'^2/c^2}.$$

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 ν' обобщаются формулой

$$\nu' = \nu_0 \frac{\sqrt{1 - u'^2/c^2}}{1 - \frac{u'}{c} \cos \alpha},$$

которая аналогична формуле (7.1) с той лишь

разницей, что в ней взята скорость движения источника излучения u' , 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

$$\nu' = \nu_0 \frac{1 + \frac{u'}{c} \cos \alpha}{\sqrt{1 - u'^2/c^2}},$$

где u' - 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 (7.3). 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.

Заключение.

В одной из своих начальных статей по СТО Эйнштейн отмечает:

«Согласно Ньютону пространство должно рассматриваться как не содержащее ни весомой материи, ни лучей света, то есть как абсолютно пустое. В то же время, механическая и электромагнитная теории заставляют рассматривать само пространство как заполненное эфиром» [7, т.1, с.139]. А уже в следующей работе добавляет: «До самого последнего времени физики были абсолютно уверены в существовании такой среды. Теория, кратко излагаемая в дальнейшем, **несовместима** (выделено мною – А.Ю.) с гипотезой эфира» [7, т.1, с. 176]. **Однако то, что мы здесь рассмотрели, опровергает данный вывод Эйнштейна.**

Напротив, непротиворечивая трактовка СТО и должна строиться как эфирная. Как теория она должна строиться именно через рассмотрение *мысленных экспериментов*, проводимых в реально

покоящейся эфирной среде *теоретически мыслимой* АСО с реально движущейся ИСО и наоборот. И никакие другие, условно назначенные СО, при этом нам не нужны. А то, что ещё сегодня излагается в учебниках и других книгах по СТО с рассмотрением различных взаимных «измерений» (опять же *лишь в мысленных экспериментах*) между разными (опять же *лишь мыслимыми*) ИСО, по очереди *назначаемых* «покоящимися» и «движущимися», есть лишь проявление *абстрактных математических следствий* теории [8]. При этом сама *подлинная физическая суть теории* из рассмотрения выброшена, что и сделало её, по признанию академика РАН Е.Б. Александрова, «достаточно парадоксальной теорией», «поражающей своей парадоксальностью выводов» [9].

Ссылки:

1. Суть физического «пространства» и «движения» материи в нём.
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/14340.html>
2. Эфир и его динамическое самодвижение.
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/15062.html>
3. Суть понятия «время» и его связь с СТО.
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/11982.html>
4. Роль постулатов при построении и трактовке СТО и в чём их подлинная суть.
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/12675.html>
5. Принципиальные ошибки при изложении СТО
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/13990.html>
6. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике, вып. 6. М.: Мир, 1977.
7. Эйнштейн А. Собрание научных трудов в 4-х т. М.: Наука, 1964-1967.
8. Как СТО из физической теории превратилась в головоломку.
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/10601.html>
9. Е.Б. Александров. Ещё раз о постоянстве скорости света. М.: Наука и жизнь, №8, 2011.

Приложения.

Приложение 1. Реальные изменения физических эталонов при их динамическом движении в реальном пространстве

1.1. Изменение эталона массы при его собственном (абсолютном) динамическом движении.

Довольно простой вывод изменения массы тела при его динамическом движении дан в лекциях Р. Фейнмана [1, с. 281]. Приведу его в несколько подкорректированной к тому, что принято выше, форме. Эталонном будем считать тело с массой покоя m_0 , которое покоится в реальном физическом пространстве.

Ещё до создания теории относительности было установлено, что даже если тело покоится в теоретически мыслимой *абсолютной системе отсчёта* (АСО), имея массу m_0 , то его внутренняя энергия $E_0 = m_0 c^2$, где c – скорость света в АСО. Чтобы тело стало двигаться, к нему следует приложить силу, которая сообщит ему внешнюю *собственную* (и в этом смысле *абсолютную*) скорость 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 v , и далее прикладывать силу F , то энергия тела станет возрастать по закону $dE = \vec{F} \cdot \vec{v} dt$. Тогда можно записать, что $\frac{d(mc^2)}{dt} = \vec{v} \cdot \frac{d(m\vec{v})}{dt}$. (1)

Если обе части уравнения (1) умножить на $2m$, то его можно переписать в виде $\frac{d(m^2 c^2)}{dt} = \frac{d(mv)^2}{dt}$. Отсюда $m^2 c^2 = m^2 v^2 + C$. (2)

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

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \quad (3)$$

Формула (3) возрастания массы, например, электрона при его динамическом движении подтверждена экспериментально в опытах Кауфмана. В опытах А. Комптона также масса электрона возрастает при его взаимодействии с фотонами. Отражающиеся фотоны при этом теряют часть массы, отдавая её электрону, длина их волны увеличивается, а частота падает. Энергия и масса электрона при этом возрастают, а также он приобретает некоторый внешний импульс.

Из экспериментов с элементарными частицами сегодня также хорошо известно, что при взаимодействии частиц одни из них могут

исчезать, а вместо них появляются новые. Из фотонов рождаются электрон-позитронные пары, а при аннигиляции последних вновь рождаются фотоны. Причём во всех взаимодействиях сохраняются масса, импульс и энергия, а также ряд других величин. Всё это, вместе взятое, даёт основание считать, что масса любой элементарной частицы, а также любого другого физического тела качественно одна и та же.

Кроме того, любая масса всегда сохраняет в реальном физическом пространстве в той или иной форме своё движение со скоростью c . Если физический объект в целом покоится в реальном физическом пространстве, его движение некоторым образом *динамически* уравновешено с окружающей средой. Чтобы физический объект, имеющий массу покоя стал двигаться в реальном пространстве с некоторой скоростью V , он должен получить некоторый внешний *динамический* импульс mV . В классической механике считалось, что для этого частицу или тело достаточно толкнуть, они начнут двигаться, но при этом никак не изменяются. И это представление оказалось ошибочным.

Сегодня мы должны со всей очевидностью осознать, что никакой другой передачи динамического импульса телу, кроме как в виде ΔmV в природе не существует. То есть *динамический импульс без массы Δm не передаётся*. При этом частице или телу вместе с массой Δm передаётся и дополнительная энергия Δmc^2 .

Если при каком-либо динамическом взаимодействии масса покоя частицы или тела не изменяется, но тело, вначале находившееся в реальном пространстве в покое, начинает двигаться с некоторой скоростью V , то это означает, что при взаимодействии оно получило энергию $\Delta mc^2 \approx m_0 V^2 / 2$ и его масса возросла. При этом его общая масса стала $m = m_0 + \Delta m$, а общий импульс mc , рис.1. Кроме того, выполняется соотношение $(m_0 c)^2 + (mV)^2 = (mc)^2$. (1)

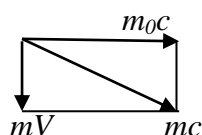


Рис. 1. Импульсная диаграмма тела при *динамическом* движении.

Как теперь хорошо известно из работ Эйнштейна (хотя это было уже известно и до него, например из работ Дж. Дж. Томсона), любое

тело с массой покоя m_0 имеет внутреннюю энергию m_0c^2 (c - скорость света), а следовательно, и некоторый динамически локализованный внутренний импульс. Теперь же мы должны осознать, что эту массу покоя и этот внутренний импульс тело имеет, будучи *динамически* покоящимся именно в *реальном физическом пространстве*. То есть, будучи в целом неподвижным в нём, любое тело в то же время сохраняет и некоторое своё интенсивное внутреннее движение.

Мы знаем также, что кванты электромагнитного поля – фотоны, не имея массы покоя (так как могут существовать лишь в движении со скоростью c), имеют некоторую массу движения m и импульс mc , а также энергию mc^2 . Масса фотона зависит от его частоты.

Соотношение (1) выполняется для любой частицы, имеющей массу покоя, при любом динамическом взаимодействии. Но нужно учесть также, что и масса покоя может изменяться, а соотношение (1) остаётся всегда. Масса покоя может измениться и частично её локализованный импульс может перейти во внешний импульс при полевым взаимодействии. И всё это происходит в соответствии с соотношением (1). Здесь кстати отметить, что именно с массой покоя связана потенциальная энергия частицы или тела.

При рождении электрон-позитронной пары из фотонов массы покоя электрона и позитрона образуются из их (фотонов) массы их чисто внешнего движения. Соотношение (1) выполняется и для образовавшегося электрона, и для позитрона. Оно также показывает, что сложение внутреннего и внешнего импульсов частицы происходит геометрически, а её внутренний импульс (в динамически закольцованном движении) лежит в плоскости, перпендикулярной направлению скорости внешнего движения (см. рис. 1).

То, что показано на рисунке, можно назвать полной импульсной диаграммой тела при его динамическом движении, хотя его чисто внешний импульс равен mV .

У электрона внутренний импульс связан с его спином (с кольцевым динамическим движением). И теперь понятно, что спин свободного электрона может либо совпадать с направлением внешней скорости, либо иметь противоположное направление.

Из формулы (1) сразу же следует известное из СТО выражение для массы движения частицы или тела:
$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}. \quad (2)$$

Из неё также следует формула П. Дирака для полной энергии свободной релятивистской частицы. Если все члены в формуле (1) умножить на c^2 , то сразу получим: $E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4$,

где E – полная энергия частицы, а p – её внешний импульс.

2.1. Излучение атомов при движении и изменение волнового эталона времени.

Здесь сразу же следует заметить, что когда мы говорим о эталоне времени, то всегда имеем в виду при этом ход эталонных часов.

Для начала рассмотрим вопрос излучения фотона атомом, *динамически* покоящимся в теоретически мыслимой АСО.

Допустим, атом имеет массу покоя m_0 и излучает фотон с массой $\Delta m' = \Delta m_0$. Родившийся фотон имеет импульс $\Delta m' c$ и сразу же при своём рождении динамически взаимодействует с породившим его атомом. При этом он сообщает этому атому некоторую скорость V , немного теряя при этом в собственной массе. Его внешний импульс становится $\Delta m c$. Импульсная диаграмма показана на рис. 2.

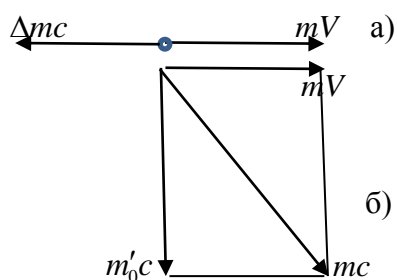


Рис. 2. Импульсная диаграмма атома при излучении: а) внешняя импульсная диаграмма; б) полная импульсная диаграмма атома после излучения.

Итак, мы можем записать следующие равенства:

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

полная масса атома после излучения $m = m_0 - \Delta m$;

внешний динамический импульс атома после излучения $mV = \Delta mc$;

соотношение (1) для атома после излучения $(m'_0c)^2 + (mV)^2 = (mc)^2$.

Подставляя все значения в последнее уравнение и разрешив его относительно массы излучаемого фотона, получим: $\Delta m = \Delta m_0 \left(1 - \frac{\Delta m_0}{2m_0}\right)$.

Используя известное для фотонов уравнение $mc^2 = h\nu$,

для частоты *излучённого* фотона получим: $\nu_0 = \nu' \left(1 - \frac{\Delta m_0}{2m_0}\right)$,

где: h – постоянная Планка; ν' – частота рождающегося при излучении фотона, тут же динамически взаимодействующего с атомом.

Теперь мы подготовлены к тому, чтобы рассмотреть излучение фотона атомом, динамически движущимся в АСО со скоростью V . Излучение происходит за счёт массы покоя атома. Доказательство соответствующей теоремы мы здесь опускаем.

Если атом излучает под прямым углом к направлению своего динамического движения, то соответствующие этому случаю импульсные диаграммы изображены на рис. 3.

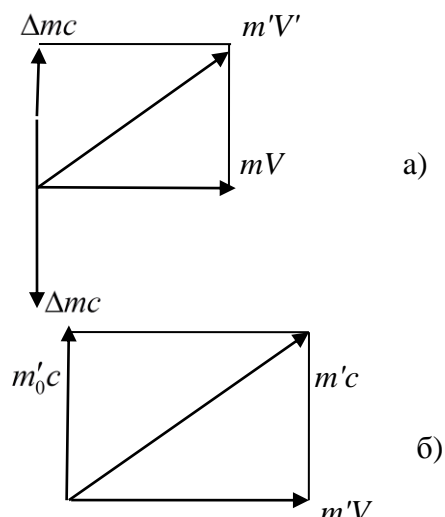


Рис. 3. Здесь также: а) диаграмма внешних импульсов; б) полная импульсная диаграмма атома после излучения.

Масса атома после излучения m' и его скорость V' . 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 динамического импульса атома после излучения $(m'V')^2 = (mV)^2 + (\Delta mc)^2$;

соотношение (1) для атома после излучения $(m'_0c)^2 + (m'V')^2 = (m'_0c)^2$.

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

$$\Delta m = \Delta m_0 \left(1 - \frac{\Delta m_0}{2m_0} \right) \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}.$$

Соответственно, для частоты излучённого фотона получим:

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

Если фотон излучается атомом в направлении скорости его динамического движения в АСО, то аналогично проведенный расчёт приводит к частоте: $\nu = \nu_0 \frac{\sqrt{1 - V^2 / c^2}}{1 - V / c}$.

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

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

А в общем случае частоту излучения динамически движущегося в АСО источника можно выразить формулой: $\nu = \nu_0 \frac{\sqrt{1 - V^2 / c^2}}{1 - \frac{V}{c} \cos \alpha}$,

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

Как видно из последней формулы, частота излучения динамически движущимся в АСО источником зависит от направления излучения в соответствии с классическим принципом Доплера, но отличается от последнего постоянным множителем $\sqrt{1 - V^2 / c^2}$.

Если же источник излучения и приёмник в динамически движущейся ИСО будут неподвижны, то приёмник будет принимать, независимо от направления излучения, частоту: $\nu = \nu_0 \sqrt{1 - V^2 / c^2}$.

И мы видим, что **частота излучения при динамическом движении атома в АСО уменьшилась ровно настолько, насколько замедляется ход часов в движущейся ИСО в СТО.**

Так как частота эталона времени замедляется *точно так же*, частота излучения от покоящегося в динамически движущейся ИСО атома будет оценена *точно такой же*, как и в случае излучения атомом, покоящимся в АСО. Другими словами, если в движущейся ИСО при измерении её "особого физического времени" мы используем её изменившийся объективно реально эталон времени, то при этом в системе соблюдается ПО. Если в динамически движущейся СО время измеряется по одним часам, то можно условно считать, что в ней замедляется и течение самого времени. Но тогда такая СО не будет соответствовать ИСО в СТО, так как в ней не будет системы «пространство-время», и в ней не будет выполняться ПО для быстро протекающих физических явлений.

Внимательный читатель очевидно уже отметил, что выше в наших расчётах частоты излучения, мы находили вначале величину массы излучаемого фотона m_f , а потом переводили её по известной формуле $m_f c^2 = h\nu$ в его частоту ν . То есть оба расчёта, как в корпускулярной форме, так и в волновой форме идентичны. И мы видим, что эффект Доплера, считающийся чисто волновым, имеет со светом и чисто корпускулярное объяснение. Этот эффект со светом более детально уже и был рассмотрен в основной части работы.

Таким образом, мы показали, что *ход* современных эталонных часов в *динамически* движущейся СО изменяется *объективно реально* (замедляется) и зависит от *собственной* (иначе, абсолютной) скорости движения СО в среде реального физического пространства (эфире). И если СО движется *динамически* инерциально, то после согласования её разноместных часов (*условной* их синхронизации) она и становится полноценной ИСО со своим *концептуальным* пространством-временем.

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-133. Атомы являются практически идеальными часами, а все остальные часы сверяются с частотой их (атомов) излучения. Так как частота излучения при *динамическом изменении* движения атома *объективно реально* изменяется, то и его период изменяется. Поэтому *объективно реально* изменяется и эталонная секунда, что экспериментально подтверждено в экспериментах Хафеле-Китинга с часами.

3.1. Изменение волнового эталона длины в динамически движущейся ИСО и сокращение тел при движении.

Как известно, сегодня международным эталоном длины является метр. Его длина равна 1650763,73 длинам волн в вакууме излучения, соответствующего переходу между некоторыми двумя уровнями атома криптона-86.

Покажем, что эталон длины, состоящий из n_0 электромагнитных волн длиной λ_0 , то есть имеющий в АСО при неподвижном в ней источнике волн длину $n_0\lambda_0$, в динамически движущейся со скоростью V ИСО с неподвижным в ней источником будет иметь с точки зрения АСО длину $n_0\lambda_0\sqrt{1-V^2/c^2}$. В самой ИСО его *собственная* длина $n_0\lambda_0$.

Допустим, что источник электромагнитных волн находится на оси x' -ов в движущейся ИСО в точке А и имеет с точки зрения АСО частоту излучения $\nu = \nu_0\sqrt{1-V^2/c^2}$, где ν_0 – частота излучения такого же источника, но неподвижного в АСО. Излучение направляется вдоль оси x -ов, достигает точки В, отстоящей от А на расстоянии $n_0\lambda_0$ в ИСО (*собственное* расстояние), отражается в ней и возвращается в А, где и регистрируется $2n_0$ эталонных длин волн (рис. 4).

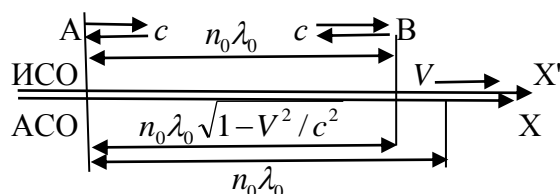


Рис.4. Собственный волновой эталон АВ длиной $n_0\lambda_0$, движущийся вместе с ИСО и расположенный в ней вдоль направления движения.

В каждом цикле излучение исходит из точки А, достигает точки В, отражается в ней и возвращается в А. Иначе говоря, это некоторое устройство, воспроизводящее в *динамически* движущейся ИСО

общепринятый волновой эталон длины. Если длина AB в $АСО$ будет $n_0\lambda_0\sqrt{1-V^2/c^2}$, то время движения излучения в этой же системе от A до B составит: $\Delta t_1 = \frac{n_0\lambda_0\sqrt{1-V^2/c^2}}{c-V}$, так как точка B уходит от излучения. Время же движения излучения от B до A будет $\Delta t_2 = \frac{n_0\lambda_0\sqrt{1-V^2/c^2}}{c+V}$, так как точка A движется навстречу излучению. Общее же время (как длительность) движения излучения во всём замкнутом цикле составит $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 = \frac{2n_0\lambda_0}{c\sqrt{1-V^2/c^2}}$.

Тогда общее количество волн в $ИСО$ в этом процессе с учётом её реальной частоты излучения будет таким же, как и в $АСО$, т.е.

$$n = v\Delta t = v_0\sqrt{1-V^2/c^2} \frac{2n_0\lambda_0}{c\sqrt{1-V^2/c^2}} = 2n_0.$$

Следовательно, динамически движущийся в среде реального физического пространства (эфире) эталон протяжённости (длины) действительно становится короче такого же эталона, неподвижного в $АСО$. Это известное лоренцево сокращение эталона длины, зависящее от абсолютной (собственной динамической) скорости его движения.

Покажем также, что такого сокращения не будет происходить с эталоном, если его расположить в $ИСО$ перпендикулярно направлению её движения в $АСО$ (рис. 5).

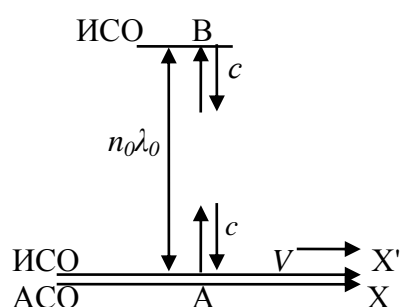


Рис.5. Волновой эталон длины расположен в $ИСО$ перпендикулярно направлению её движения. Излучение исходит из точки A , достигает точки B , отражается в ней и возвращается в A .

Тогда действительный путь движения электромагнитных волн от точки A до точки B и назад будет таким, как показано на рис. 6.

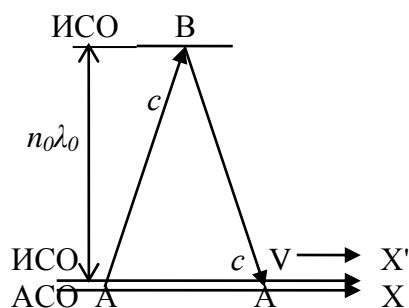


Рис. 6. Действительный путь движения волн излучения от начального до конечного положения точки А за один цикл движения.

Здесь мы видим начальное и конечное положение точки А, а также положение точки В в момент принятия и отражения излучения. Из рисунка видно, что время движения излучения от А до В и от В до А при несокращённом эталоне длины будет одинаковым и равным

$$\Delta t = \frac{n_0 \lambda_0}{\sqrt{c^2 - V^2}} = \frac{n_0 \lambda_0}{c \sqrt{1 - V^2/c^2}},$$

а время полного замкнутого цикла в два раза больше. И общее число волн за один цикл движения составит

$$n = v 2 \Delta t = v_0 \sqrt{1 - V^2/c^2} \frac{2 n_0 \lambda_0}{c \sqrt{1 - V^2/c^2}} = 2 n_0,$$

И если Лоренца упрекали в том, что он безосновательно принял возможность такого поведения эталона длины при его абсолютном движении (сокращение его длины) и пытался объяснить это силовым взаимодействием тел с эфиром, то теперь мы видим, что сокращение эталона доказано. И для этого даже не нужно рассматривать силовое взаимодействие эталона с неподвижным эфиром.

Известные опыты Майкельсона и Морли, а позже и других их последователей со светом *фактически* говорят о том, что *точно так же*, как волновые эталоны длины, ведут себя и твёрдые тела. И это можно считать экспериментальным подтверждением того факта, что твёрдые тела, как и элементарные частицы, в своей основе имеют некоторую сложную корпускулярно-волновую природу, а потому и изменяют свою длину при *динамическом* движении и различных поворотах в пространстве точно так же, как и волновые эталоны длины.

Таким образом, **в работе доказано**, что реальные физические эталоны массы, хода часов и длины *изменяются реально* при абсолютном *динамическом* движении в реальном физическом

пространстве, т.е. в эфире. **Эти изменения являются законами его абсолютного динамического движения.**

Ссылки:

1. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике, вып. 1. М.: Мир, 1977.

Приложение 2. Разрешение «парадокса с часами» в СТО.

Как известно, наибольшее количество споров при обсуждении различных проблем *специальной теории относительности* (СТО) было вокруг так называемого «парадокса близнецов», или правильнее всё же будет сказать «парадокса с часами». Его так и не сумели объяснить в рамках той трактовки СТО, которую ей дал Эйнштейн. Сегодня считается, что он нашёл своё разрешение в *общей теории относительности* (ОТО). Однако ОТО не имеет к этому никакого отношения. **Вопрос легко решается в рамках СТО, если дать ей правильную трактовку и принципиально правильно понимать принцип относительности (ПО) инерциального движения [1-4].**

Следует также ввести в рассмотрение вопроса теоретически мыслимую *абсолютную систему отсчёта* (АСО), неподвижно связанную с покоящимся в целом реальным физическим пространством. Это, по сути, та же мыслимая *покоящаяся инерциальная система отсчёта* голландского физика Г.А. Лоренца, которую он в своё время и считал неподвижно связанной с мировым эфиром [1-4]. В ней мы и будем рассматривать движение других *инерциальных систем отсчёта* (ИСО), а также отдельно взятых часов.

Автор полагает, что суть «парадокса» читателю уже известна, а поэтому сразу же приступаем к делу.

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

трактуются 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.

Возьмём в АСО на её оси x -ов неподвижные часы А. В какой-то момент мимо них со скоростью v , направленной вдоль оси x -ов, проносятся точно такие же часы А'. Когда они поравняются с часами А, стрелки обеих часов устанавливают на ноль (рис. 1а).

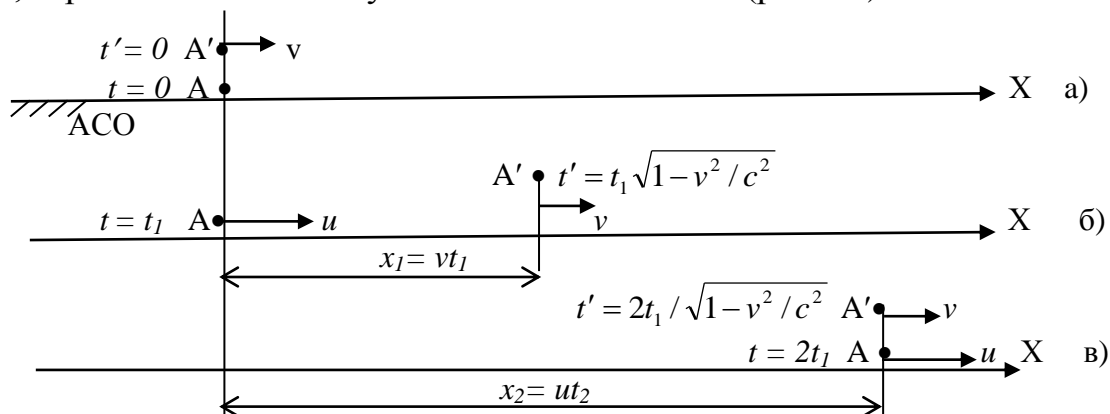


Рис. 1. Отставание часов А в их замкнутом цикле движения относительно часов А':

а) - момент совпадения в одной точке пространства неподвижных часов А с движущимися со скоростью v часами А', время на обеих часах принимается за нулевое;

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.

Через некоторое время t_1 по часам в АСО, когда часы А' уже находятся на расстоянии $x_1 = vt_1$ от часов А (рис. 1б), 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 А', снова была бы v . И, когда часы А догоняют часы А', показания обеих часов сравнивают и находят, что часы А отстали (рис. 1в), так как по отношению к часам А' 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 $u = \frac{2v}{1+v^2/c^2}$. (1)

К тому моменту, как часы А догонят часы А', они пройдут в АСО расстояние x_2 (рис. 1в). Для этого им понадобится время t_2 (с точки зрения АСО). За это же время часы А' 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 (1) найдём, что $x_2 = \frac{2x_1}{1-v^2/c^2}$. Тогда t_2 можно выразить как $t_2 = \frac{x_2}{u} = \frac{x_2(1+v^2/c^2)}{(1-v^2/c^2)2v} = t_1 \frac{1+v^2/c^2}{1-v^2/c^2}$. (2)

А так как за время t_2 стрелки часов А ушли вперёд на число делений $t_2\sqrt{1-u^2/c^2}$, то к моменту встречи с часами А', часы А покажут $t = t_1 + t_2\sqrt{1-u^2/c^2}$. Здесь учтено замедление собственного хода часов А за время их движения со скоростью u . Подставляя в последнее выражение t_2 из (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 (1), то, в конечном счёте, $t = 2t_1$. (3)

Часы А' 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) $t' = \frac{2t_1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$. (4)

И отношение между t и t' из (3) и (4) будет $t = t'\sqrt{1-v^2/c^2}$. То есть мы видим, что часы А отстали от часов А', 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 А', но за вторую часть движения часы А, двигаясь *реально* с собственной скоростью u , превышающей скорость v , отстали от часов А' ровно настолько, как если бы они всё время находились относительно часов А' в движении с *относительной* скоростью v .

В чём собственно заключается парадокс? Если следовать формальной логике Эйнштейна, то уже в момент времени, показанный на рис.1б), часы А должны были бы тоже отстать от часов А', так как и они двигались по отношению к часам А' с *относительной* скоростью v . Но ведь *объективно реально* такого не может быть, чтобы часы А' отстали от часов А, а те, в свою очередь, отстали от часов А'.

Далее в трактовке СТО Эйнштейном считается, что если часы А' вернуть назад в исходное положение (рис.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 А', 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 А' при их возвращении назад к часам А следует само собой. Оно просто и наглядно объясняется *собственным* движением часов А'. Но сейчас мы покажем и кое-что ещё.

Вернёмся снова к нашему примеру и свяжем с часами А' уже готовую ИСО, в которой эти часы покоятся. Тогда в момент б) взаимное положение систем отсчёта будет таким как на рис.2.

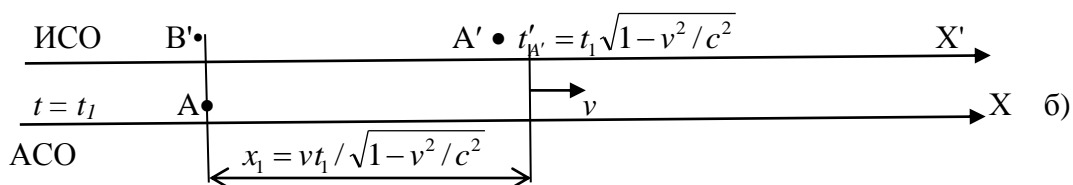


Рис. 2. Взаимное положение систем отсчёта в момент б) (рис. 1). Против точки А находится точка В' с часами, согласованными по своим показаниям с часами в точке А'. Расстояние x_1 измерено в ИСО.

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 A' на число делений равное $\Delta t' = vx_1/c^2$ [4]. И тогда в изображённый на рис.2 момент их показания будут

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

$$\text{или } t_1 = t'_{B'} \sqrt{1 - v^2/c^2}. \quad (5)$$

Отсюда по логике трактовки СТО Эйнштейном наблюдатели ИСО, находящиеся в этот момент в точке B' , вправе сделать вывод об отставании хода часов A от хода часов ИСО. И вроде бы всё правильно. Наблюдатели в *системе отсчёта* (СО), связанной с часами A , делают свой вполне правомерный вывод о том, что отстали часы A' , а наблюдатели в СО, связанной с часами A' , тоже делают свой якобы тоже правомерный вывод, что отстали часы A . И те и другие якобы правы, потому что якобы таковы свойства пространства и времени. И совершенно несовместимые вещи объявляются *объективной 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 следует ввести *теоретически мыслимую* АСО, как мы это и сделали. Из неё мы и видим, что и часы в B' *реально* отстали в своём ходе от часов A . А свой «вывод» из соотношения (5) наблюдатели в ИСО могут сделать лишь потому, что уже в начальный момент (рис.1а) часы в B' были впереди часов в A' на $\Delta t' = vx_1/c^2$ [4]. Поэтому их вывод вовсе не правомерен. В точке B' у них нет замера хода часов ИСО, а есть лишь времени-подобный замер [5].

Правильный вывод такой. По отношению к любой движущейся ИСО через выполняемые в ней длинно-подобные и времени-подобные замеры [5] явления проявляются в той же форме, *как если бы она была реальной АСО. В этом и заключается истинный смысл ПО* [6]. Поэтому наблюдатели в ИСО должны сказать следующее: «Мы не знаем истинного соотношения хода часов A и A' , A и B' . 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.

При *собственном* (абсолютном) движении в эфире *объективно реально* изменяется не только *длительность* всех циклических процессов, но и *протяжённость* всех физических объектов и их *масса*, а также многое другое.

Ссылки:

1. Принцип постоянства скорости света и его роль в СТО
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/10466.html>
2. Суть физического «пространства» и «движения» материи в нём.
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/14340.html>
3. Суть понятия «время» и его связь с СТО.
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/11982.html>
4. Сигнальная процедура сверки показаний разноместных часов ИСО в СТО <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/14844.html>

5. Взаимная оценка длин и хода часов в различных ИСО
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/10557.html>

6. Суть принципа относительности в СТО
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/11136.html>

Приложение 3. «Одновременный» волновой фронт в ИСО

Обратимся к рис. 1 и рассмотрим из АСО то, как будет регистрироваться световой фронт в движущейся ИСО от импульсной вспышки света. Вспышка происходит в момент совпадения начал СК обеих систем. И хотя источник света при этом покоится в точке O' ИСО, но реально свет будет распространяться в реальном пространстве от точки O . Однако в самой ИСО световой фронт как бы распространяется именно от точки O' . Регистрацию выполняем при «одновременных» показаниях часов $t' = x'_1/c = |-x'_1|/c$ в ИСО.

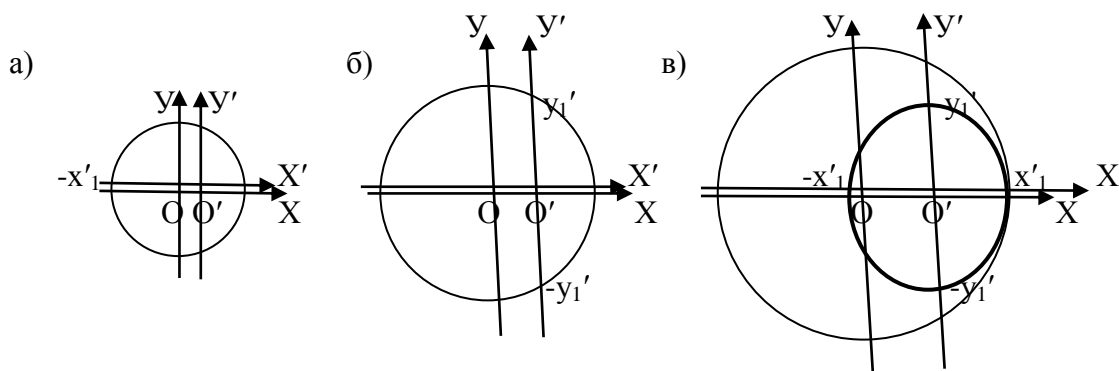


Рис. 1. «Одновременная» регистрация в ИСО в *условный* момент $t' = x'_1/c$ светового фронта, реально исходящего от точки O .

Здесь из АСО мы как бы наглядно видим, что волновой фронт, распространяясь в реальном пространстве, вначале будет зарегистрирован слева на оси X' в точке с координатой $-x'_1$, затем на оси Y' в точках с координатами $y'_1 = |-y'_1| = x'_1$, а затем и в точке с координатой x'_1 .

А теперь рассмотрим восприятие волнового фронта в разных точках ИСО через регистрации ТС в ней.

Если волновой фронт от покоящегося в O' источника «одновременно» зарегистрировать в движущейся ИСО в момент $t' = \frac{x'_1}{c}$ (рис. 1в), то в этот *условный момент* по часам в ИСО он действительно будет проходить справа точку x'_1 . Слева он должен проходить точку с координатой $|-x'_1| = x'_1$, хотя *объективно реально* это

будет уже *другой момент* в самостоятельном существовании волнового фронта (рис. 1а).

На оси y' -ов фронт будет проходить точки $y'_1 = -y'_1 = x'_1$ и это будет уже *третий момент* в самостоятельном процессе распространения света (рис. 1б). Но в ИСО они все будут *зарегистрированы и восприняты условно как «одновременные»*, так как все будут выполнены при *одинаковых показаниях часов* $t' = x'_1/c = y'_1/c$.

Это и есть *условная одновременность регистрации* через ТС светового фронта *по отношению к ИСО* (к её П-В) в её *особом физическом времени*. А точка излучения при этом *как бы остаётся* на месте в O' . И, несмотря на то, что *объективно реально* в движущейся ИСО *условный* световой фронт по ТС будет "одновременно" зарегистрирован в указанной плоскости как эллипс (рис. 1в), в самой ИСО он будет воспринят как окружность, так как при повороте в указанной плоскости изменяется и сам эталон длины.

Можно сказать и по-другому, что это и есть в соответствии с ПО проявление *закона распространения света (ППСС)* в ИСО. Но так ИСО и её *условным собственным П-В* и *строится на основе* принятия этих принципов (постулатов)! И никаких чудес ни со светом, ни с пространством и временем, ни с *объективно реальной* одновременностью *существования* самого физического явления при этом не происходит. Как и показано *наглядно* на рисунке 1 **световой фронт объективно реально распространяется в реальном пространстве от точки излучения O с постоянной скоростью c во всех направлениях, т.е. сферически.**