

Что означает «одновременность» в СТО

А.К. Юхимец, к.т.н., доц. anatoly.yuhimec@Gmail.com

Анализу физического содержания *специальной теории относительности* (СТО) и выявлению философского значения принятых ею пространственных и временных отношений с момента её создания Альбертом Эйнштейном (1905г.) посвящено очень большое количество опубликованных в печати работ как зарубежных, так и отечественных авторов. Обсуждение многих вопросов, связанных с СТО, вызвало множество оживлённых дискуссий. Не будет преувеличением сказать, что как среди философов, так и физиков центральное место в них занимало понятие «одновременности» двух или более *точечных событий* в различных точках пространства и та процедура её проверки, которую предложил А.Эйнштейн, а ещё раньше голландский физик Г.А.Лоренц, и которая была названа *сигнальной*.

Вот, например, что сказано у акад. Л.И. Мандельштама о значении понятия «одновременности» для физики и всего естествознания в целом, а также роли Альберта Эйнштейна в его определении: «...без знания того, что такое одновременность в двух различных точках, вы не можете сравнивать по времени события, происходящие в различных местах. Между тем этого требует вся механика, без этого не может обойтись физика.

Таким образом, в выяснении того, что понятие одновременности есть такое же понятие, как длина, как время в данном месте, что это третье понятие, которое должно быть определено, - в этом громадная заслуга Эйнштейна. Знали о пространстве, знали о времени, знали в течение многих сотен лет, и никому не приходило в голову, что это так» [1, с.173].

Абсолютно все явления природы существуют и протекают в пространстве и являются результатом движения материи. Что же касается времени, то оно нужно нам для описания движения. «При этом следует иметь в виду, - замечает Эйнштейн, - что подобное математическое описание имеет физический смысл только тогда, когда предварительно выяснено, что подразумевается здесь под «временем» [2, Т.1, с.8]. Он обращает также наше внимание на то, «что все наши суждения, в которых время играет какую-либо роль, всегда являются суждениями об *одновременных событиях*» (там же).

До создания СТО классическая механика в своих теоретических построениях использовала понятие абсолютного времени, введенного в физику И. Ньютоном. С этим понятием самым непосредственным образом связывалось и понятие «одновременности» двух или более

разноместных событий в пространстве как таковом, которое также считалось абсолютным и неподвижным. Одновременность означала то, что события происходят *в один и тот же момент* абсолютного времени, текущего всегда и везде одинаково равномерно и независимо от чего бы то ни было. Другими словами, одновременные события *не разделены во времени*, они происходят и в данный момент существуют не раньше и не позже друг друга, т.е. *объективно реально существуют* в одном и том же «теперь» («сейчас»).

Так «одновременность» понималась и до Ньютона, и так говорил о ней в своей «Физике» ещё Аристотель. Таким образом, в классической механике понятие «одновременности» совершенно чётко выражало отношение *сосуществования* двух или более разноместных событий. И, как видим, уже рассматривалось и до Эйнштейна. А на проблему как достичь единообразия хода часов в различных точках пространства ещё до Эйнштейна обратил внимание А. Пуанкаре в своей работе «Измерение времени» [3]. Он же пришёл к выводу, что лучше всего это сделать с помощью световых сигналов, как наиболее быстрых из всех известных в природе. Да и астрономы, наблюдая далекие от нас небесные тела, чтобы как-то учитывать при этом фактор времени, уже давно стали учитывать скорость распространения света.

Никому не приходило в голову решать проблему одновременности разноместных событий в обычной повседневной механике лишь потому, что она занималась вопросами движений, протекающих с несоизмеримо меньшими скоростями в сравнении со скоростью света. Поэтому в какой-либо *системе координат* (СК) можно было пользоваться одними часами, расположенными в удобном для измерений месте и не заботиться о тех погрешностях в отношении измерения времени, которые при этом возникали. Погрешности по другим причинам были несоизмеримо больше. Вот их и пытались устранять, когда в этом была необходимость. Если возникала необходимость в каком-либо случае перейти от одной СК к другой, движущейся относительно первой, то опять же использовались одни и те же часы, по которым выставлялось время в обеих СК, и вносимая от этого погрешность была чрезвычайно малой и никого не беспокоила.

Понимая исключительную важность понятия «одновременности» при изучении быстрых движений, соизмеримых со скоростью света, Эйнштейн, создавая свою *трактовку* СТО, первым делом обращается к анализу этого понятия. Действительно, как можно судить об очерёдности протекания событий во времени, если они разделены пространством? Он прямо связывает понятие «одновременности» с вопросом *синхронизации хода часов* в разных точках пространства.

Очевидно, для этого надо практически достичь единообразия хода разноместных часов, т.е. везде должны быть не просто часы с совершенно одинаковым эталонным ходом, но и их *показания* всегда должны *быть в фазе*. В этом заключается сама *суть синхронизации* в понимании Эйнштейна.

Что синхронизированные с помощью световых сигналов разноместные часы в *инерциальной системе отсчёта* (ИСО) «идут в фазе», Эйнштейн подчеркнул уже в первой своей работе по СТО, а затем и в ряде последующих своих работ (см., например, 2, т.1, с.13, с.149 и др.). Но что ещё на более простом языке означает эта фраза? Каких-либо дополнительных разъяснений на сей счёт не даётся. Всё вроде бы понятно и так. Однако, при этом, безусловно, молчаливо предполагается, что если бы мы могли окинуть все разноместные часы «мгновенным взором», то увидели бы на них *одни и те же показания*.

То, что мы выше упомянули слово «взор», несколько не должно нас смущать. Это сказано для образности и простоты понимания смысла сказанного. Главное, что это правильно и однозначно *логически отражает смысл* той синхронизации хода разноместных часов, которая была задумана Эйнштейном. Синхронизация хода часов должна отражать *в каждое мгновение факт объективно реального сосуществования* одинаковых показаний на разноместных часах СК после проведения такой процедуры. И каждый логически мыслящий человек не может с этим не согласиться.

«Совокупность показаний всех сверенных указанным образом часов, которые можно представить себе покоящимися относительно системы координат и расположенными в заданных точках пространства, мы назовём временем, принадлежащим используемой системе координат, или, коротко, временем этой системы, - сказано у Эйнштейна» [2, т.1, с.69].

Почему «совокупность показаний всех сверенных указанным образом часов» мы можем назвать «временем, принадлежащим используемой системе координат»? Да именно потому, как считал Эйнштейн, *что все они* «идут в фазе». И это должно означать, что все разноместные часы в каждой ИСО не просто имеют одинаковый эталонный ход, но и *на всех этих часах в любой момент сосуществуют* одинаковые показания, единые для всей СО. То есть по мнению Эйнштейна, это и будет то *физически измеримое* время в данной инерциальной СК, с помощью которого, и только так, мы и можем изучать различные физические явления («время этой системы», необходимое для «*математического описания*»). И как был убеждён Эйнштейн, нет и не может быть в принципе, т.е. даже чисто теоретически, единого (*абсолютного*) физического времени.

Лишь каждая конкретная материальная ИСО может иметь своё *собственное* («особое») физическое время. А так как никаких реальных ИСО без нашего их построения быть не может, то следовательно, с точки зрения Эйнштейна, нет и никакого *объективно текущего* времени. В каждой ИСО течёт своё «особое» время – это ход её эталонных часов. И хотя Эйнштейн прямо нигде не говорит о том, *что* понимать под *течением времени*, но из его *трактовки* теории ясно, что если ход эталонных часов в какой-либо ИСО изменить, то изменится и *течение* собственного («особого») физического времени в ней.

За отрицание *объективно текущего времени* идеалисты сразу же причислили Эйнштейна к своему лагерю. Они стали утверждать, что якобы наука в лице Эйнштейна доказала, что нет никакого *объективного течения времени и сосуществования явлений в мире*. И здесь налицо *серьёзнейшая ошибка* Эйнштейна.

Это правильно, что понятие «физическое время» по самой своей сути является *концептуальным* (договорным) и чисто *гносеологическим* [4]. Оно придумано нами и служит нам *для познания* физических явлений. Но чтобы наше познание было *объективным*, гносеологическое понятие должно иметь в своей основе нечто *онтологическое, т.е. объективно присущее самой природе*. И в отношении наших понятий *объективного* «времени» и его «течения» такой онтологической основой является само *объективное существование* материального мира, само *дление его существования, а не ход* каких-либо часов. И так как те или иные объективные явления в мире существуют повсеместно *непрерывно и независимо ни от каких СО*, то и *сосуществуют в каждое мгновение, т.е. одновременно*. И никакая теория этого *отменить не может*.

Итак, Эйнштейн применил свет для синхронизации показаний разноместных часов. Но в его подходе важно выделить то, что само *физическое* пространство и существование его метрических свойств он жёстко связал не с реальным пространством вообще, которое он считал *пустым*, а с той или иной СК. Отрицая абсолютное неподвижное пространство Ньютона и существование материального эфира, как бы заполняющего его, он исключил саму возможность рассматривать какую-либо выделенную СК. Поэтому синхронизацию часов даже *чисто мысленно*, с его точки зрения, мы вправе проводить лишь по отношению к относительному метрическому пространству какой-либо конкретной материальной системы.

Как известно, в СТО рассматриваются лишь инерциально движущиеся СК. Синхронизировав в них с помощью световых сигналов ход всех разноместных часов, мы получаем *инерциальные системы отсчёта* (ИСО), по отношению к которым и изучаем

протекание различных физических процессов. А СТО в трактовке Эйнштейном утверждает, что *по отношению ко всем ИСО*, находящимся в относительном движении, все физические явления *по форме* протекают совершенно одинаково, т.е. по одним и тем же законам. Именно так *постулируется* Эйнштейном *принцип относительности* (ПО) инерциального движения.

Сегодня в теоретической физике ПО придаётся всеобщий характер для всех без исключения физических явлений, включая и квантовые. И это делается без полного понимания самой сути ПО.

К использованию ПО в каждом конкретном случае следует подходить исключительно внимательно, скрупулёзно анализируя все тонкости рассматриваемого вопроса. Тем более это очень важно, учитывая тот факт, что мы ещё *ни разу нигде не строили* свои конкретные СО по всем правилам СТО.

В работе автора [5] показано, что если мы не знаем *собственную* (*абсолютную*) скорость движения материального тела, то и *не можем реально* провести процедуру синхронизации хода разноместных часов в СК на базе такого тела. Но ведь у нас нет и *реальной* возможности создать материальную *абсолютную систему отсчёта* (АСО) [4-7]. Тогда как же нам изучать природу в её самостоятельных проявлениях?

Оказывается, выход есть. Сама природа позаботилась об этом. Если мы в движущейся инерциально СК *выставим показания* всех её разноместных часов с помощью световых сигналов *точно так же*, как и в АСО, т.е. *условно считая* скорость света постоянной во всех направлениях, то получим движущуюся ИСО. В ней, вопреки утверждениям Эйнштейна, разноместные часы *не будут идти в фазе*, т.е. синхронно. Но нам это и не нужно.

Показания разноместных часов вместе с относительным метрическим пространством СК образуют теперь некоторую жёсткую измерительную конструкцию «пространство-время» (см. ниже рис. 1). Из рисунка видно, что теперь в СК нет единого времени по её метрическому пространству. Показания разноместных часов зависят от координаты x' и скорости движения. И если в точках на оси $o'u'$ показания часов принять за нулевые (координата $x'=0$), то слева от неё все часы будут *условно спешить*, а справа *условно отставать* (т.е. *по своим показаниям*). В такой измерительной системе у нас нет возможности выполнять *реально одновременные* регистрации в разноместных точках вдоль оси $o'x'$. Но как раз *по отношению к ней* мы и сможем наблюдать все физические явления *точно так же*, как если бы находились в *реальной* АСО. В этом и заключается *истинный смысл принципа относительности* (ПО) [4-7].

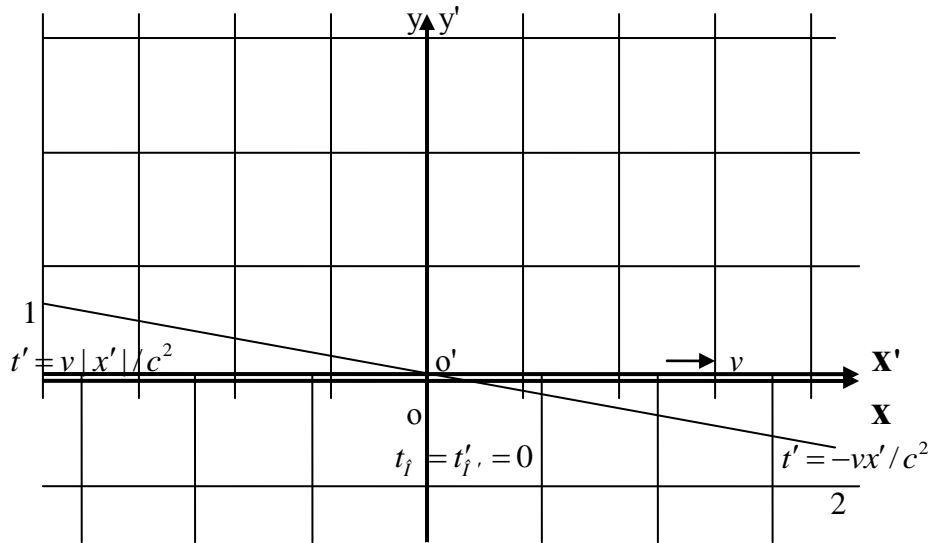


Рис. 1. На рисунке условно совмещены АСО с её СК xoy и движущаяся в ней со скоростью v ИСО с её СК' $x'o'y'$.

В нижней части показана разметка пространства АСО. Время по всему её пространству едино ($t=0$). В верхней части показана разметка *относительного метрического пространства* ИСО. Из АСО видно, что оно *сжато в направлении движения*, но в самой ИСО *воспринимается* как изотропное. Линия 1-2 показывает как изменяются показания часов в ИСО вдоль её оси $o'x'$: в точке o' они нулевые, слева все часы спешат, справа отстают от показаний в точке o' . Метрическое пространство ИСО и показания часов во всех его точках образуют неразделимое «пространство-время». Каждая его точка имеет три пространственных и временну́ю координаты.

Если часы в движущейся ИСО разделены расстоянием l' по своим измерениям, то разность в их показаниях будет $\Delta t' = vl'/c^2$. При этом отстают те часы, которые находятся *впереди* по ходу движения [5].

Как оказалось, многое в отношении *абсолютной формы проявления* различных физических явлений мы можем узнать, даже *не проводя никаких реальных опытов*. Достаточно рассмотреть некоторые *правильно логически выстроенные мысленные эксперименты* на основе того, что нам уже хорошо известно из классической физики.

Допустим, в момент, показанный на рис.2, в точке o , с которой совмещена точка o' , происходит импульсная вспышка света. И световой фронт от этой вспышки начинает распространяться сферически в реальном физическом пространстве, с которым и связана жёстко АСО. Через некоторое время Δt по часам АСО (система К) световой фронт в ней можно изобразить окружностью с радиусом Δtc .

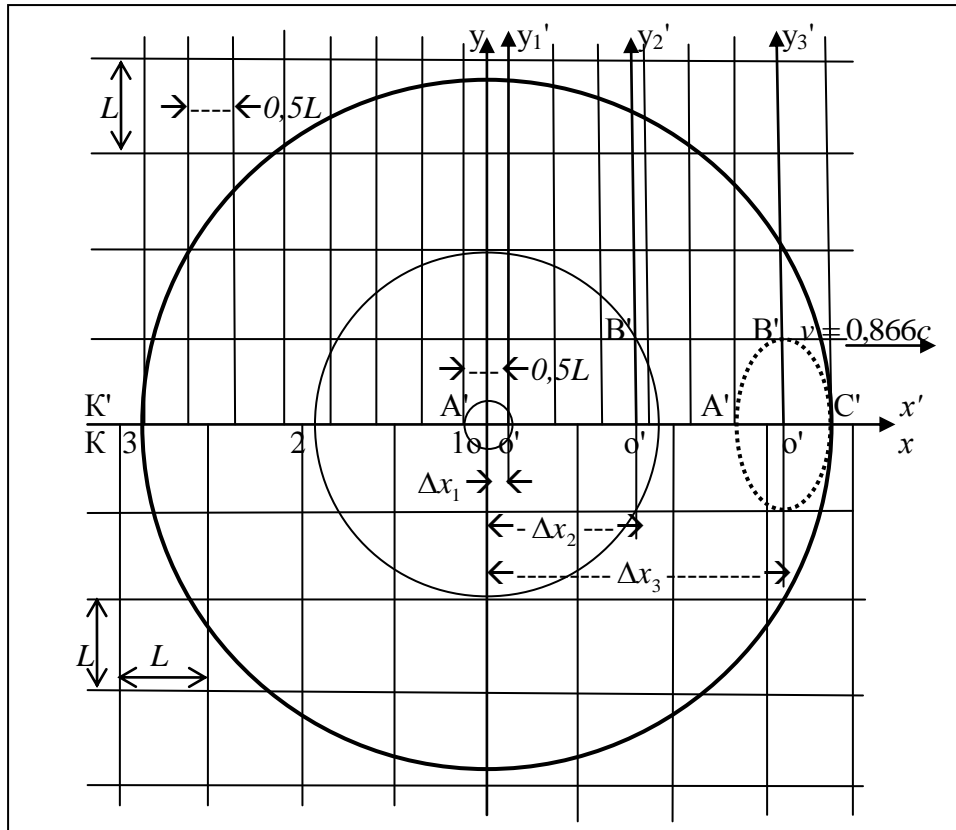


Рис. 2. В верхней части рисунка показана движущаяся система отсчёта K' с метрической координатной сеткой $x'o'y'$, а в нижней части – абсолютная система отсчёта K с координатной сеткой xoy .

Окружности 1, 2 и 3 показывают три последовательных момента распространения светового фронта от импульсной вспышки света в точке o . Пунктирный эллипс показывает условный световой фронт в K' , созданный нами по трём точечным замерам в ней.

Свет в K (в реальном физическом пространстве) распространяется сферически от импульсной вспышки в точке o . K' с координатной сеткой $x'o'y'$ движется в K со скоростью $v=0,866c$. Поэтому $G = \sqrt{1 - v^2/c^2} = 0,5$. Следовательно, координатная сетка в K' вдоль её оси « x' » сжата вдвое. В самой K' ячейки измерительной сетки считаются квадратными с размерами $L \times L$. В момент вспышки света её точка o' совпадает с точкой o . Примем этот момент за начало отсчёта времени. А далее будем строить с точки зрения K световой фронт в K' для «момента времени» в ней $t' = L/c$. Выполним необходимые вычисления с точки зрения системы K .

Чтобы световой фронт продвинулся влево от точки o' до координаты $-L$ (точка A' в K') нужно время $t_1 = 0,5L/(c+v)$. Тогда ось ординат K' за это время уйдёт вправо до положения $o'y_1'$. Смещение $\Delta x_1 = vt_1 = 0,232L$. Радиус окружности 1 составит $ct_1 = 0,268L$. В K' свет достигнет точки A' с координатой $-(0,268L + 0,232L) = -0,5L$. А так как

часы в A' по показаниям опережают часы в o' на vL/c^2 [5], то к рассматриваемому моменту на них будет $t'_{A'} = vL/c^2 + t_1G = L/c$. (1)

Чтобы световой фронт продвинулся вдоль оси ординат от точки o' до координаты L (точка B' в K') нужно время $t_2 = L/cG$. Тогда ось ординат K' за это время уйдёт вправо до положения $o'y'_2$. Смещение $\Delta x_2 = vt_2 = 1,732L$. Радиус окружности 2 составит $ct_2 = 2L$. Показания часов в B' к рассматриваемому моменту будут $t'_{B'} = t_2G = L/c$. (2)

Чтобы световой фронт продвинулся вдоль оси абсцисс от точки o' до координаты L (точка C' в K') нужно время $t_3 = LG/(c-v)$. Тогда ось ординат K' за это время уйдёт вправо до положения $o'y'_3$. Смещение $\Delta x_3 = vt_3 = 3,23L$. Радиус окружности 3 составит $ct_3 = 3,73L$. А так как часы в C' по показаниям отстают от часов в o' на $-vL/c^2$ [5], то к рассматриваемому моменту на них будет $t'_{C'} = t_3G - vL/c^2 + t_1G = L/c$. (3)

Итак, мы *наглядно* видим, что в K' световой фронт вначале был зарегистрирован в точке A' с координатой $-L$ при показаниях её часов (1), затем в точке B' с координатой L и *такими же* показаниями её часов (2), а затем и в точке C' с координатой L при *таких же* показаниях часов (3). И теперь мы можем свести все три момента с одинаковыми показаниями часов (*условно одновременные*) в одну *искусственную картинку* как бы отражающую распространение светового фронта в K' по отношению к точке o' , в которой и произошла импульсная вспышка света. Этот, *созданный нами, условный световой фронт* и показан пунктирным эллипсом. Но в самой K' он *воспринимается как окружность* с центром в o' , т.е. так, как если бы K' была АСО.

Рис.2 *наглядно* показывает нам сразу оба основных принципа СТО [6]. Окружности 1, 2 и 3 показывают *принцип постоянства скорости света* (ППСС) в K (в реальном физическом пространстве [7]). Так распространяется сферически от точки o свет *сам по себе*. Пунктирный эллипс демонстрирует *принцип относительности* (ПО). На *искусственно построенной* нами картинке (эллипс) свет по отношению к точке o' в системе K' *по условно одновременным* засечкам также *как бы* распространяется сферически, т.е. как и в АСО.

Объективно реально свет движется в K' влево со скоростью $c+v$, но скорости-подобный замер для света *в самой системе* даёт численное значение c . Вдоль оси $o'y'$ *реальная* скорость распространения света $\sqrt{c^2 - v^2} = cG$, но скорости-подобный замер *в самой системе* снова даёт численное значение c . Вправо свет *реально* распространяется со скоростью $c-v$, но скорости-подобный замер в самой системе *опять же* даёт численное значение c . Всё это *уже заложено* в теории *самой процедурой* «синхронизации хода» разноместных часов в K' , благодаря которой и выполняется ПО в ней.

По точечным *условно одновременным* замерам, если построить по ним картинку явления, всё происходит, как и в АСО. *В этом сама суть* ПО.

Реально в точке o' на оси ординат в положении $o'y_3'$ часы показывают $t'_3 = t_3 G = LG^2 / (c - v) = 1,866L/c$. Такими же будут и показания часов в точке В' в этом же положении $o'y_3'$. А часы в точке А' справа показывают $t'_3 + vL/c^2 = 2,732L/c$. И только в точке С' показания часов действительно L/c . И *никакого реального светового фронта по эллипсу нет*, кроме точки С', совпадающей с окружностью 3. На ней *реально одновременно (т.е. сейчас)* и находится световой фронт ($t_3 = 3,73L/c$).

Таким образом, в движущейся ИСО понятие «одновременность» является *сугубо условным*. Оно служит лишь для определённой *объективной регистрации* разноместных точечных событий в «пространстве-времени» системы. И хотя регистрация точечных событий носит *объективный* характер, но она *не позволяет нам выполнять реальные измерения* длин и промежутков времени между разноместными событиями. Каждое зарегистрированное точечное событие имеет три пространственных и четвёртую временную координаты. Эти координаты дают нам лишь некоторые *длинно-подобные и времени-подобные замеры*, через которые мы вычисляем и другие опять же всего лишь *подобные, а не реальные*, физические величины, например скорость и массу. Но только такое «пространство-время» и такая «одновременная» регистрация *точечных событий* в нём *позволяют изучать* все физические явления в движущейся ИСО *с таким же успехом*, как если бы она была реальной АСО.

Ссылки:

1. Мандельштам Л.И. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. М., Наука, 1972, с.440.
2. Эйнштейн А. Собрание научных трудов в 4-х т.: М. Наука, 1965-1967.
3. Пуанкаре А. Избранные труды в 3-х томах. М. Наука, 1974.
4. Физическое время и его сущность
<http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/230204201724.pdf>
5. Сверка показаний разноместных часов в СТО
<http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/230205195755.pdf>
6. Принцип постоянства скорости света и его роль в СТО
<http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/221017213834.pdf>
7. Суть физического пространства и движение материи в нём
<http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/181208140326.pdf>