

# Преобразования Лоренца в СТО

А.К. Юхимец. [Anatoly.Yuhimec@Gmail.com](mailto:Anatoly.Yuhimec@Gmail.com)

"Выводы Эйнштейна справедливы, однако преобразования Лоренца представляют собой математическое средство и ненаблюдаемы; они очень полезны, но явно не имеют физического смысла.» Л. Бриллюэн.

Рассмотрим в *специальной теории относительности* (СТО) из теоретически мыслимой покоящейся относительно всего эфира в целом *абсолютной системы отсчёта* (АСО) [1] движущуюся со скоростью  $v$  *инерциальную систему отсчёта* (ИСО). Но, прежде всего, хочу отослать читателя к работе [2], в которой показано, что общепринятые сегодня *волновые эталоны* длины (протяжённости) и течения времени (длительности) *изменяются реально* в зависимости от скорости их движения в реальном мировом пространстве. Вернее, от скорости  $v$  их движения в АСО, неподвижной по отношению к материальной среде реального мирового пространства (эффиру). При этом эталон длительности *реально* изменяется как  $\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - v^2/c^2}$ , а эталон длины *реально* изменяется только вдоль направления движения как  $l' = l \sqrt{1 - v^2/c^2}$ , где  $c$  – скорость света в АСО, а величины в ИСО отмечены штрихами. Но в самих ИСО они остаются собственными *единицами* измерения. Эти эталоны и применены в системах при градуировке осей их прямоугольных *систем координат* (СК) и юстировке *темпа хода* часов. Кроме того, напомним, что *инерциально* движущаяся СК' становится ИСО только после проведения в ней сигнальной процедуры сверки показаний всех её разноместных часов. В результате в ней и создаётся её *пространство-время* (П-В), рис. 1.

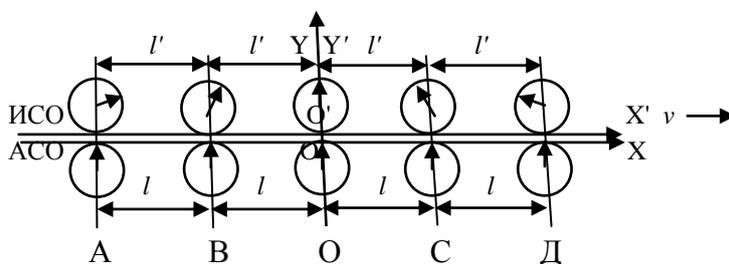


Рис. 1. Показания часов АСО и ИСО вдоль осей  $x$ -ов в начальный момент  $t = 0$ ; в ИСО нет единого времени (единых показаний часов).

Момент совпадения начал обеих *систем координат* (СК) примем за нулевой. Тогда и все часы АСО в этот момент имеют такие же

показания (время в АСО едино или все часы идут в фазе). В ИСО все часы слева от точки  $O'$  с  $t'_{O'} = 0$  как бы спешат ( $t'_B = l'v/c^2$ ,  $t'_A = 2l'v/c^2$ ), а справа как бы отстают ( $t'_C = -l'v/c^2$ ,  $t'_D = -2l'v/c^2$ ) по своим показаниям [2]. То есть общее правило такое:  $t'_{x'} = -vx'/c^2$ , где  $x'$  – координата точки в ИСО по оси  $X'$ . Часы в ИСО не идут в фазе, как ошибочно считал Эйнштейн, а образуют вместе с координатами её метрическое П-В [3].

Далее допустим, что в некоторый момент времени  $t$  по часам в АСО в точке  $A$  её пространства с координатами  $x, y, z$  произошло какое-либо событие. Координаты этого же события в движущейся ИСО обозначим  $x', y', z'$ , а момент времени, зафиксированный в этой точке, обозначим через  $t'$ . Система преобразований координат между системами отсчёта должна дать нам связь между всеми этими величинами. И эту связь легко установить из рис. 2, на котором показано взаимное положение систем отсчёта и события в точке  $A$  в момент совершения последнего.

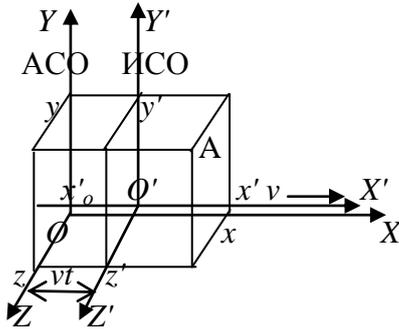


Рис. 2. Взаимное положение систем отсчёта и точки  $A$  в некоторый момент  $t$  по часам АСО.

За время  $t$  (по часам АСО) ИСО сместилась вдоль оси  $x$ -ов относительно АСО на расстояние  $oo' = vt$ . Так как эталоны длины вдоль осей  $Y'$  и  $Z'$  не изменились, то из рисунка мы сразу же видим, что  $y' = y$  и  $z' = z$ , а координата  $x'$  находится из следующих элементарных соображений. Так как в АСО  $ox' = ox - oo' = x - vt$ , но расстояния вдоль направления абсолютного движения в самой ИСО оцениваются увеличенными в  $1/\sqrt{1-v^2/c^2}$  раз (так как уменьшился эталон), то  $x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ .

А так как часы в ИСО идут медленнее в  $\sqrt{1 - v^2/c^2}$  раз в сравнении с часами в АСО, то часы в точке  $O'$  будут показывать время  $t\sqrt{1 - v^2/c^2}$ .

Но часы в  $x'$  отстают от часов в  $o'$  на величину  $-vx'/c^2$ . Следовательно, часы в точке  $x'$  (и в точке А) будут показывать  $t' = t\sqrt{1-v^2/c^2} - vx'/c^2$ .

Подставим в это выражение значение  $x'$  и получим, что  $t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ .

Точно так же получаем и обратные преобразования:  $x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ ,  
 $t = \frac{t' + vx'/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ . Все они и называются *преобразованиями Лоренца* (ПЛ).

Кроме того, они *наблюдаемы* и имеют *ясный физический смысл*.

В последнем случае вместо знака «-» в верхней части дроби стоит знак «+», так как скорость АСО по отношению к ИСО имеет противоположное направление. И мы убеждаемся в том, что полученные преобразования совершенно одинаковые по форме, как для АСО, так и для ИСО. Остается лишь показать, что измерение относительной скорости АСО, выполненное в ИСО, даёт то же самое значение  $v$ . Это легко сделать, обратившись ещё раз к рисунку 2.

В рассматриваемый момент времени начало системы координат АСО находится против точки  $x'_o$ . Так как расстояние  $x'_o o'$  в АСО равно  $vt$ , то в ИСО оно будет оценено как  $vt/\sqrt{1-v^2/c^2}$ . Показания часов ИСО в точке  $x'_o$  будут на  $vx'/c^2$  делений больше, чем в точке  $o'$ , а значит составят  $t/\sqrt{1-v^2/c^2} + vx'_o/c^2$ . А так как  $x'_o$  численно равно  $vt/\sqrt{1-v^2/c^2}$ , то скорость  $v'$  относительного движения АСО будет определена в ИСО как  $v' = \frac{vt}{\sqrt{1-v^2/c^2} \left( t\sqrt{1-v^2/c^2} + \frac{v \cdot vt}{c^2 \sqrt{1-v^2/c^2}} \right)} = v$ .

Теперь представим себе случай взаимного однонаправленного движения сразу нескольких ИСО. Нам интересно узнать, как преобразуются координаты и время (момент) какого-либо события при переходе от одной ИСО к другой. Покажем это опять же конкретно и наглядно. Для этого к рассмотренным выше системам отсчёта добавим ещё одну ИСО, которую назовем К".

Пусть оси координат всех наших систем отсчёта будут взаимно параллельны. К' движется вдоль оси X АСО со скоростью  $v_1$ , а К" также движется в том же направлении, но уже со скоростью  $v_2$ , причем  $v_2 > v_1$ . Допустим далее, что в какой-то момент времени начала СК всех трёх систем отсчёта совпали, и примем этот момент за нулевой.

Из того, что мы уже рассмотрели выше, ясно, что достаточно рассмотреть случай, когда некоторое событие А происходит в плоскости ХОУ, а координата  $z$  равна нулю. Это упростит наши записи и рисунок, но никак не скажется на общности выводов.

Итак, в момент времени  $t$  по часам в АСО происходит некоторое событие в точке А с координатами  $x$  и  $y$  в этой же системе. Координаты этого же события в  $K'$  будут  $x', y'$ , а момент  $t'$ . В  $K''$  координаты события  $x'', y''$ , а момент  $t''$ . Данная ситуация показана на рис. 3.

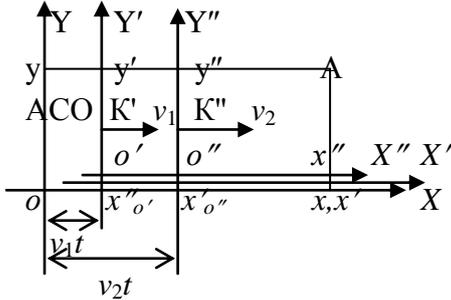


Рис. 3. Взаимное положение всех систем отсчёта в момент совершения события в точке А с точки зрения теоретически мыслимой АСО.

Из рисунка 3 сразу ясно, что  $y=y'=y''$ . А используя полученные выше преобразования, можем также записать, что, с одной стороны,

$$x = \frac{x' + v_1 t'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \text{и} \quad t = \frac{t' + v_1 x'/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad \text{а с другой стороны,} \quad x = \frac{x'' + v_2 t''}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \text{и}$$

$$t = \frac{t'' + v_2 x''/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \quad \text{Откуда получаем равенства} \quad \frac{x' + v_1 t'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{x'' + v_2 t''}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \text{и}$$

$$\frac{t' + v_1 x'/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{t'' + v_2 x''/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \quad \text{Решая совместно эти равенства, находим, что:}$$

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

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

Но теперь установим, какими будут относительные скорости  $v_{21}$  движения  $K''$  относительно  $K'$  и  $v_{12}$  движения  $K'$  относительно  $K''$ .

Из рис. 3 видно, что значение скорости  $v_{21}$  определится как частное от деления координаты  $x'_{o'}$  на показания часов в этой точке  $K'$ .

Указанную координату можно выразить как  $x'_{o'} = \frac{(v_2 - v_1)t}{\sqrt{1 - v_1^2/c^2}}$ . А

показания часов в этой точке будут на  $x'_{o'} v_1/c^2$  делений меньше, чем в точке  $o'$ , которые, в свою очередь, будут равны  $t\sqrt{1 - v_1^2/c^2}$ . Тогда

$$\text{скорость } v_{21} = \frac{(v_2 - v_1)t}{\sqrt{1 - v_1^2/c^2} \left( t\sqrt{1 - v_1^2/c^2} - \frac{(v_2 - v_1)tv_1}{c^2\sqrt{1 - v_1^2/c^2}} \right)} = \frac{v_2 - v_1}{1 - \frac{v_1 v_2}{c^2}}.$$

Значение скорости  $v_{12}$  определится как частное от деления абсолютного значения координаты  $x''_{o'}$  на показания часов в этой точке  $K''$ . Абсолютное значение указанной координаты получим как

$$|x''_{o'}| = \frac{(v_2 - v_1)t}{\sqrt{1 - v_2^2/c^2}}. \text{ А показания часов будут на } |x''_{o'}|v_2/c^2 \text{ делений больше,}$$

чем в точке  $o''$ , которые в этой точке равны  $t\sqrt{1 - v_2^2/c^2}$ . Тогда скорость

$$v_{12} = \frac{(v_2 - v_1)t}{\sqrt{1 - v_2^2/c^2} \left( t\sqrt{1 - v_2^2/c^2} - \frac{(v_2 - v_1)tv_1}{c^2\sqrt{1 - v_2^2/c^2}} \right)} = \frac{v_2 - v_1}{1 - \frac{v_1 v_2}{c^2}}.$$

$$\text{Итак, мы видим, что } v_{21} = v_{12} = \frac{v_2 - v_1}{1 - \frac{v_1 v_2}{c^2}}.$$

Тогда, полученные выше значения для  $x'$ ,  $t'$  и  $x''$ ,  $t''$  можно переписать как:

$$x' = \frac{x'' + v_{12}t''}{\sqrt{1 - v_{12}^2/c^2}}, \quad t' = \frac{t'' + v_{12}x''/c^2}{\sqrt{1 - v_{12}^2/c^2}}, \quad x'' = \frac{x' - v_{21}t'}{\sqrt{1 - v_{21}^2/c^2}}, \quad t'' = \frac{t' - v_{21}x'/c^2}{\sqrt{1 - v_{21}^2/c^2}}.$$

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

На этом вопрос с преобразованиями координат и показаний часов при переходе от одной системы отсчёта к другой полностью исчерпан. А заодно мы получили здесь и формулы *не сложения* скоростей в СТО, когда нашли  $v_{12}$  и  $v_{21}$  через  $v_1$  и  $v_2$ , а их *преобразования* при переходе в другую систему отсчёта.

А теперь зададим себе такой вопрос: какое всё это имеет значение с точки зрения теории и практики?

Так вот, с точки зрения теории это говорит о том, что она является внутренне самосогласованной и не содержит противоречий. А что касается практики, то никогда и нигде мы ещё ПЛ не применяли ни в одном из реальных экспериментов. Да мы никогда ещё и не строили на практике ни одну из своих систем отсчёта, как это предполагается в СТО, и не проводили в них свои наблюдения. И уж тем более, никогда нам не понадобятся эксперименты с взаимными измерениями из двух взаимно движущихся с огромными скоростями систем отсчёта. Это уже чистая *математическая абстракция*.

Тогда зачем же вообще всё это нам нужно? Что же реально даёт нам СТО, которую мы считаем фундаментальной научной физической теорией? Ведь мы сегодня считаем, что на ней и на квантовой теории держится вся фундаментальная теоретическая физика. А поэтому и должны ответить на поставленные вопросы.

Начнём с неоспоримого факта, что абсолютно всё, что мы наблюдаем, включая и все наши лабораторные эксперименты, в конечном счёте, реально происходит не просто в пространстве нашей лаборатории, какой бы она ни была, а прежде всего в реальном физическом пространстве. Но познаём мы всё это никак не иначе, как в его *проявлении по отношению* к нашим системам наблюдения и измерения. Но ведь и они тоже существуют и как-то движутся всё в том же реальном физическом пространстве. Реально практически других систем отсчёта у нас просто нет. Однако неизбежно при этом, что все движения, присущие самому наблюдаемому явлению, как-то переплетутся с собственным движением нашей системы отсчёта. И тогда возникает вопрос: и как же нам изучить само явление, отделив от него то, что подмешивается нашей системой отсчёта?

Вот тут, благодаря СТО и дав ей правильное научное толкование, мы получаем *фундаментальное теоретическое обоснование* всем своим экспериментам в реально движущихся системах отсчёта. Более того, выполнив ряд всего лишь надлежащим образом чётко

выверенных мысленных экспериментов, мы получаем благодаря этой теории и целый ряд некоторых частных и общих физических законов свойственных самим природным движениям. Как оказалось, природа устроена так, что мы можем обходиться без практически реализуемой АСО при решении многих физических задач, пока мы не делаем их слишком глобальными.

Как только мы выполним, даже чисто теоретически, с помощью световых сигналов «синхронизацию» показаний разноместных часов в какой-либо движущейся СК, то мы тем самым сразу же *переводим её* по её наблюдательно-регистрационным возможностям для нас *в ранг теоретически мыслимой АСО*. Мы получаем не просто условно покоящуюся ИСО, а условную АСО! Вот это и есть то, чего не осознал в своё время Эйнштейн и не осознают ещё и сегодня все его последователи по трактовке теории. И сразу же из неё убирается всякая мистика.

Не осознал, к сожалению, по-настоящему этого и Г.А. Лоренц. Анализируя результаты экспериментов А. Майкельсона, он в основном был озабочен тем, чтобы понять физические причины неудач по измерению скорости движения Земли в эфире. Но найдя эти причины, опять же не сумел до конца правильно осмыслить *принцип относительности*, который проявился при этом, и не дал ему надлежащей *принципиально правильной* формулировки [4].

Итак, из сказанного следует, что в СТО, даже у Эйнштейна (правда *нелегально*), всегда присутствовала и АСО под видом «условно покоящейся» ИСО, что бы он сам не говорил при этом. А реальный смысл в теории *имеет лишь то*, что мы можем мысленно, т.е. *чисто теоретически*, рассмотреть в движении различных физических объектов, включая и физические поля, по отношению к условно покоящейся АСО, как бы мы её при этом ни назвали. И «покоящаяся» ИСО, и «движущаяся» с огромной скоростью ИСО, и теоретически мыслимая АСО (все с «синхронизированными» между собою разноместными часами в каждой из них) – все они в этом отношении равноправны! Тем самым мы познаём то, как протекают явления *сами по себе* в своём самостоятельном существовании.

Второй чрезвычайно важный вывод состоит в том, что всю фундаментальную теоретическую физику нам ещё лишь предстоит построить как физику различных структурных движений единой мировой сплошной (континуальной) среды (эфира), как физику её

(его) *абсолютных самодвижений* в реальном физическом пространстве и реально текущем времени [5, 6]. И главной теоретической опорой в этом для нас и будет правильно трактуемая СТО. Этот единственно правильный подход к познанию Природы как таковой практически был закрыт с лёгкой руки Эйнштейна более, чем на сто лет.

Примечание.

Различные упражнения с рассмотрением взаимного движения сразу нескольких ИСО и различных событий в них имеют смысл на тех же основаниях, как и любая физическая или математическая головоломка [7].

Ссылки:

1. Абсолютная система отсчёта и принцип постоянства скорости света в ней. <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/11348.html>
2. Реальные изменения физических эталонов при их динамическом движении в реальном пространстве.  
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/15175.html>
3. Сигнальная процедура сверки показаний разноместных часов ИСО в СТО. <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/14844.html>
4. Суть принципа относительности в СТО.  
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/11136.html>
5. Суть физического «пространства» и «движения» материи в нём.  
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/14340.html>
6. Суть понятия «время» и его связь с СТО.  
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/11982.html>
7. Как СТО из физической теории превратилась в головоломку.  
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/10601.html>