

## Взаимная оценка длин и промежутков времени в различных ИСО

Юхимец А.К., к.т.н., доц. [anatoly.yuhimec@gmail.com](mailto:anatoly.yuhimec@gmail.com)

Покажем со всей наглядностью, как возникают так называемые взаимнообратимые «релятивистские эффекты» сокращения длин и замедления хода времени в различных *инерциальных системах отсчёта* (ИСО). Мы увидим, что эту *взаимнообратимость* нужно считать в полном смысле слова лишь относительной. Но, в то же время, она и *объективна*, так как отвечает определённым отношениям в самостоятельном существовании вещей, с чем нам и нужно разобраться.

Для начала, прежде всего, покажем, что с точки зрения любой движущейся ИСО масштабы (или эталоны) длины и времени в теоретически мыслимой *абсолютной системе отсчёта* (АСО) изменяются точно так же, как и соответствующие точно такие же масштабы ИСО при её движении в АСО. Для этого рассмотрим некоторую ИСО, движущуюся в АСО вдоль её оси «х» со скоростью  $v$ . Ось «х'» ИСО параллельна оси «х». А так как размеры тел изменяются только в направлении движения, будем рассматривать лишь оси  $x$ -ов, рис.1.

Допустим, что на оси «х» в АСО уложена масштабная линейка АВ (масштаб 1), а в ИСО на оси «х'» уложена точно такая же линейка А'В' (масштаб 2). Выражение «точно такая же» означает, что, если эту линейку остановить и совместить с линейкой АВ, то их концы совпадут. В общем же смысле это выражение будет означать, что нечто в ИСО сделано точно так же, по тем же правилам, что и в АСО.

Рассмотрим момент времени, с точки зрения АСО, когда концы А и А' линеек совпадут, как это и показано на рис.1. И так как А'В' *объективно реально* короче АВ, то конец масштаба 2 в момент совпадения концов А и А' окажется против некоторой точки С на оси «х». Измерив отношение А'В' к АВ, мы получим, что  $A'B' = AB \sqrt{1 - v^2/c^2}$ .

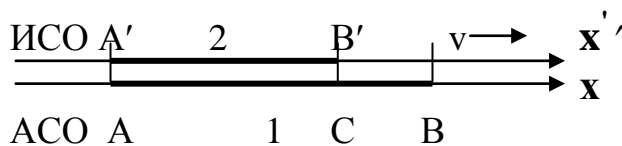


Рис. 1.

Точно таким же образом могут поступить и наблюдатели в ИСО. Только теперь они должны построить аналогичную картину с точки

зрения *своей* «одновременности». То есть они должны показать то, что наблюдают против каждой из своих точек на оси «x'» тогда, когда часы в этих точках показывают одно и то же время с часами в точке A', когда последняя совпала с точкой A. Эта картина с точки зрения ИСО показана на рис.2.

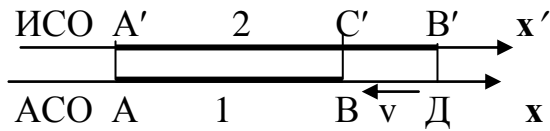


Рис. 2.

Так как ИСО движется в АСО в направлении оси «x», то часы в точке B' отстают в своих показаниях от часов в точке A' на величину  $vl/c^2$ , где  $l$  – длина A'B', измеренная в ИСО. Точно такое же *численное* значение  $l$  имеет длина АВ в АСО. Следовательно, к тому моменту, когда часы в B' покажут то же время, что и часы в A' в момент совпадения с точкой А (нулевое время), ИСО с точки зрения АСО, пройдёт дополнительно расстояние  $\Delta l = v^2/c^2 \sqrt{1-v^2/c^2}$ . Здесь множитель  $1/\sqrt{1-v^2/c^2}$  введен для того, чтобы указанный выше сдвиг времени на часах в B' перевести на время АСО. Тогда точка B', с точки зрения АСО, будет находиться от точки А на расстоянии

$$l\sqrt{1-v^2/c^2} + \frac{l}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \cdot \frac{v^2}{c^2} = \frac{l}{\sqrt{1-v^2/c^2}}.$$

Следовательно, в ИСО отношение АВ к A'B' оценят как

$$\frac{AB}{A'B'} = \frac{l\sqrt{1-v^2/c^2}}{l} = \sqrt{1-v^2/c^2},$$

или  $AB = A'B' \sqrt{1-v^2/c^2}$ .

Фактическое взаимоположение АВ и A'B' в тот момент, когда на часах в B' будут те же показания ( $t'_{B'}=0$ ), что и на часах в точке A' при её совпадении с точкой А, показано на рис. 3. То есть *объективно реально* точка A' против точки А и точка B' против некоторой точки Д на оси «x» регистрируются в ИСО в разное время. Но с точки зрения ИСО эти наблюдения и

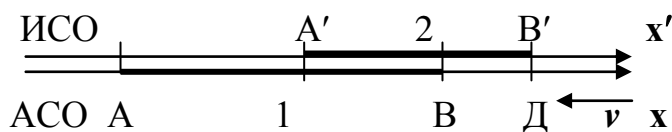


Рис. 3.

регистрация *считаются* одновременными. В силу этого в ИСО и получают «сокращение» длины АВ в сравнении с А'В' при относительном движении систем. И мы теперь *наглядно видим* как надо понимать это «сокращение».

Можно и другим путём получить отношение АВ к А'В' с точки зрения ИСО. Для этого вначале можно засечь время в точке А', находясь против точки А, а затем засечь время в той же точке А', находясь против точки В. Так как в АСО время движения точки А' от А до В будет  $l/v$ , а часы в ИСО идут замедленно, то указанное время движения по часам в А' составит  $l\sqrt{1-v^2/c^2}$ . А так как относительная скорость АСО измеряется в ИСО как  $v$ , то АВ будет *измерено* в ИСО как

$$AB = v \frac{l}{v} \sqrt{1-v^2/c^2} = A'B' \sqrt{1-v^2/c^2}.$$

При втором способе установления отношения АВ к А'В' *теряется* *наглядность* того, как возникает «сокращение» АВ по отношению к А'В', в то время как *объективно реально* всё обстоит как раз наоборот.

Ход времени в АСО с точки зрения ИСО оценивается следующим образом. Вначале засекаем время, скажем, в точках В' и В, когда они находятся друг против друга, а затем в точках А' и В, когда А' будет против В. Часы в В при этом уйдут вперёд на

$$\Delta t = \frac{A'B'}{v} = \frac{l\sqrt{1-v^2/c^2}}{v},$$

так как это *объективно реальное* время движения масштаба 2 относительно точки В по времени АСО.

Часы в В' и А' за это же время с учётом замедления их хода уйдут вперёд на

$$\Delta t \sqrt{1-v^2/c^2} = \frac{l(1-v^2/c^2)}{v}.$$

А разность показаний часов в А' и В' с учётом того, что часы в А' «спешат» по отношению к часам в В' на величину  $vl/c^2$ , будет

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

В результате получаем, что с точки зрения ИСО  $\Delta t = \Delta t' \sqrt{1-v^2/c^2}$  И мы опять *наглядно видим*, как получается «замедление хода времени» в АСО как раз в том же отношении, в каком *объективно реально замедлен ход часов* в движущейся ИСО по отношению к *ходу часов*, неподвижных в АСО. Причём, всё это получается в результате

*объективных измерений* по отношению к пространственно-временной конструкции ИСО.

Теперь покажем, что такими же будут взаимные измерения длин и промежутков времени и в двух разных ИСО, движущихся в пространстве с разными абсолютными скоростями. Для этого рассмотрим ИСО1, движущуюся со скоростью  $v_1$ , и ИСО2, движущуюся со скоростью  $v_2$ . В первой из них на оси « $x'$ » поместим масштаб 1 ( $A'B'$ ), а во второй – на оси « $x''$ » масштаб 2 ( $A''B''$ ). Их *собственные* длины равны  $l$ . Оси  $x$ -ов параллельны и их *собственные* скорости направлены вдоль этих осей.

Измерение длины масштаба 2 из ИСО1.

Поступаем как и ранее. Из ИСО1 в момент времени, когда точки  $A'$  и  $A''$  поравняются друг с другом, засекаем на оси « $x''$ » координату точки  $B'$ . Координаты точек  $A''$  и  $B''$  на оси « $x''$ » считаются известными, или мы можем тоже заметить их из соответствующих точек на оси « $x'$ » в рассматриваемый момент времени (с точки зрения ИСО1). Указанная ситуация с точки зрения ИСО1 показана на рис. 4а).

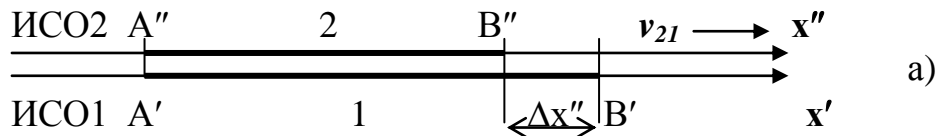


Рис. 4 а).

Как объективно реально будет выполняться это измерение, если за ним наблюдать из АСО? Покажем это на рис.5 (саму АСО мы не показываем, так как она нам не нужна).

Вначале будет зафиксирован момент совпадения точек  $A'$  и  $A''$  (рис.5, а).

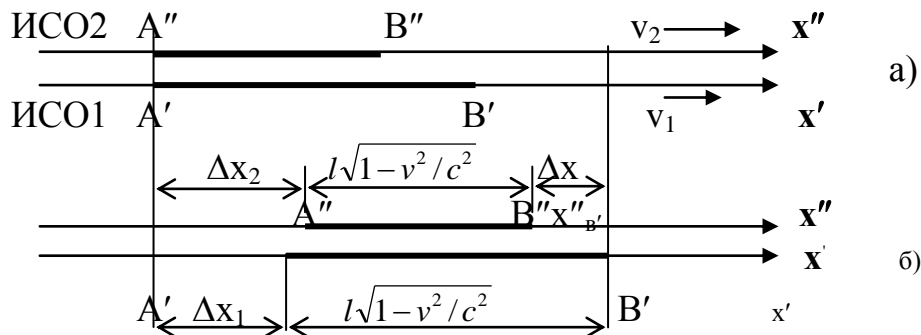


Рис. 5.

В это время из АСО видно, что часы в В' отстают от часов в А' на  $v_1 l / c^2$  делений. Поэтому регистрация координаты  $x''_{B'}$  будет выполнена, когда стрелка часов в В' сместится вперёд именно на это число делений. Сместятся и масштабы. Этот момент с точки зрения АСО показан на рис.5,б). Выполним простые расчёты.

С точки зрения АСО промежуток времени между регистрацией точки А'' против точки А' и регистрацией точки  $x''_{B'}$  против В' будет

$$\Delta t = \frac{v_1 l}{c^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - v_1^2 / c^2}},$$

так как часы в ИСО идут замедленно в связи с их *абсолютным* движением со скоростью  $v_1$ . За это время масштаб 1 уйдёт вперёд на

$$\Delta x_1 = v_1 \Delta t = \frac{v_1^2}{c^2} \cdot \frac{l}{\sqrt{1 - v_1^2 / c^2}}.$$

А масштаб 2 уйдёт вперёд на

$$\Delta x_2 = v_2 \Delta t = \frac{v_2 v_1}{c^2} \cdot \frac{l}{\sqrt{1 - v_1^2 / c^2}}.$$

Тогда с точки зрения АСО расстояние  $\Delta x$  между точками В'' и В' в момент регистрации координаты  $x''_{B'}$  будет

$$\Delta x = l \sqrt{1 - v_1^2 / c^2} + \Delta x_1 - l \sqrt{1 - v_2^2 / c^2} - \Delta x_2 = \frac{l}{\sqrt{1 - v_1^2 / c^2}} (1 - v_2 v_1 / c^2) - l \sqrt{1 - v_2^2 / c^2}.$$

Но в ИСО2 эта величина составит

$$\Delta x'' = \frac{\Delta x}{\sqrt{1 - v_2^2 / c^2}} = l \frac{1 - v_2 v_1 / c^2}{\sqrt{1 - v_1^2 / c^2} \cdot \sqrt{1 - v_2^2 / c^2}} - l.$$

И тогда расстояние между точкой А'' и точкой  $x''_{B'}$  в ИСО2 определится как

$$l + \Delta x'' = \frac{l(1 - v_2 v_1 / c^2)}{\sqrt{1 - v_1^2 / c^2} \cdot \sqrt{1 - v_2^2 / c^2}}.$$

Отсюда отношение

$$\frac{A''B''}{A'B'} = \frac{l}{l + \Delta x''} = \sqrt{1 - \frac{(v_2 - v_1)^2}{c^2(1 - v_1 v_2 / c^2)^2}} = \sqrt{1 - v_{21}^2 / c^2},$$

так как

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

То есть это скорость ИСО2 относительно ИСО1, измеренная из ИСО1.

И мы видим, что при измерении из ИСО1  $A''B'' = A'B' \sqrt{1 - v_{21}^2 / c^2}$ . Это и есть известное «сокращение» длины.

Обратим здесь наше внимание на то, что в формуле «сокращения» фигурирует относительная скорость движения систем, в то время как

$$6 \quad \Delta t' = \frac{l(1 - v_1^2/c^2)}{v_2 - v_1} - \frac{v_1 l}{c^2}.$$

каждая система отсчёта движется *со своей* абсолютной скоростью и в каждой из них масштабы 1 и 2 имеют своё *реальное* сокращение длины. При измерении масштаба 1 из ИСО2 мы получим взаимнообратное «сокращение» длины, т.е.  $A'B' = A''B'' \sqrt{1 - v_{12}^2/c^2}$ , где  $v_{12}$  - скорость ИСО1 относительно ИСО2. Она будет такой же, как и  $v_{21}$ .

Оценка хода времени в ИСО2 с точки зрения ИСО1. Системы отсчёта те же, что и выше. Поступаем следующим образом.

Вначале засекаем время в  $A'$  по часам ИСО1 и в  $B''$  по часам ИСО2, когда эти точки совпадут (рис. 6, а). Затем засекаем время в  $B'$  по часам ИСО1 и в  $B''$  по часам ИСО2, когда совпадут уже эти точки (рис. 6, б). После этого находим промежуток времени  $\Delta t'$ , «прошедший» между этими двумя событиями в ИСО1 (по часам в  $A'$  и  $B'$ ), и промежуток времени  $\Delta t''$ , прошедший между этими же событиями в ИСО2 (по часам в  $B''$ ). В результате получим искомое отношение  $\Delta t''$  к  $\Delta t'$ .

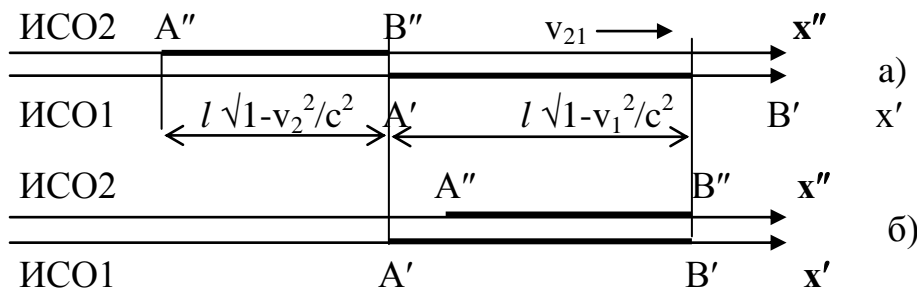


Рис. 6.

Выполним необходимые подсчёты, но напомним, что всё это мы наблюдаем из АСО.

Разность скоростей абсолютного движения ИСО2 и ИСО1  $\Delta v = v_2 - v_1$ . Поэтому абсолютное время движения точки  $B''$  вдоль  $A'B'$

$$\Delta t'' = \Delta t \sqrt{1 - v_2^2/c^2} = \frac{l \sqrt{1 - v_1^2/c^2} \cdot \sqrt{1 - v_2^2/c^2}}{v_2 - v_1}.$$

Значит, часы в  $B''$  за время этого движения уйдут вперёд на

$$\Delta t = \frac{l \sqrt{1 - v_1^2/c^2}}{v_2 - v_1}.$$

А часы в точке  $A'$  за это же время уйдут вперёд на

$$\Delta t \sqrt{1 - v_1^2/c^2} = \frac{l(1 - v_1^2/c^2)}{v_2 - v_1}.$$

Часы в точке  $B'$  постоянно отстают в своих показаниях от часов в точке  $A'$  на  $v_1 l/c^2$  делений. Следовательно, промежуток времени  $\Delta t'$  будет измерен как

$$\Delta t' = \frac{l(1 - v_1^2/c^2)}{v_2 - v_1} - \frac{v_1 l}{c^2}.$$

Отсюда искомое отношение будет

$$\frac{\Delta t''}{\Delta t'} = \frac{\sqrt{1 - v_1^2/c^2} \cdot \sqrt{1 - v_2^2/c^2}}{1 - v_1 v_2/c^2} = \sqrt{1 - v_{21}^2/c^2},$$

или  $\Delta t'' = \Delta t' \sqrt{1 - v_{21}^2/c^2}$ .

Таким образом, мы со всей *наглядностью* показали как *получается* взаимнообратимость «сокращения» длин и «замедления хода времени» при переходе от одной ИСО к другой. Эти эффекты носят подлинно *относительный* характер. Они вполне *объективны*, так как являются *следствием объективных отношений*, присущих самой природе вещей. Но это не всегда объективно реальные сокращения или объективно реальные замедления. Их нужно понимать только как *проявление* ПО, суть которого заключается в том, что в любой движущейся ИСО физические явления *проявляются* в той же форме, как и при их самостоятельном существовании в АСО. Относительная скорость систем, *измеренная в них же*, выступает при этом *в роли абсолютной* скорости движения движущейся ИСО по отношению к условно неподвижной.

Обратим наше внимание также на то, что, когда мы имеем дело с разностью показаний каких-либо одних и тех же часов в движущейся ИСО, то эта разность показаний даёт нам время, *действительно* прошедшее с точки зрения хода часов в этой системе отсчёта. Например, в нашем последнем случае это часы в точке В'' ИСО2. Но когда мы говорим о разности показаний часов, находящихся *в разных* точках ИСО, то эта разность *не всегда отражает* действительно прошедшее в ней время с точки зрения *хода ее же часов*. Например, в нашем случае выше это разность показаний часов в точках В' и А' ИСО1, так как эти часы имеют *постоянный сдвиг* в своих показания по отношению друг к другу, хотя и *считаются* в самой ИСО1 идущими синхронно, т.е. «в фазе». Поэтому слово «прошедший» при определении промежутка  $\Delta t'$  мы взяли в кавычки, так как прошедшее время фактически не является таковым, но в самой ИСО1 *измеряется* именно так.

Подчеркнём здесь также, что хотя все ИСО и равноправны с точки зрения изучения различных физических явлений, они, тем не менее, *не являются* совершенно одинаковыми, как это мыслил в своей *трактовке* СТО Эйнштейн. Они имеют свои *собственные* абсолютные размеры своих эталонов длины и свой *собственный* абсолютный ход часов. Все тела в ИСО имеют свою *собственную* абсолютную массу и т. д. И все это *зависит* в каждой ИСО от её *собственной абсолютной скорости* движения в пространстве,

которую Эйнштейн не просто *исключил из трактовки* теории, а *отрицал начисто*, как неправомерную. Это и привело ко многим *нелогичностям и парадоксам* в теории, которых при правильном её понимании быть не должно.