

## СКЛАДЫВАЕТСЯ ЛИ СКОРОСТЬ СВЕТА СО СКОРОСТЬЮ ПРИЕМНИКА?

*Проанализировано содержание выражения “сложение скорости света со скоростью приемника” в рамках одной неподвижной системы отсчета, где движутся луч и приемник, и в двух системах отсчета, в одной из которых приемник покоится. Отмечено качественное различие этих случаев. Выполнен оценочный расчет времени движения луча солнечного света, отраженного от спутника Юпитера, до Земли в двух системах отсчета: в системе, где неподвижно Солнце и в системе, связанной с Землей. Рассмотрены галилеевский и лоренцевый варианты связи между указанными системами. С опорой на выполненный расчет высказано мнение, что данные наблюдений по затмению спутника Юпитера не могут рассматриваться в качестве доказательства классического (не релятивистского) правила сложения скоростей света и приемника, как утверждает некоторыми исследователями.*

Дискуссии по поводу СТО имеют диапазон от утверждений о необходимости пересмотра ее основ с опорой на новый подход к фундаментальным опытам [1] до мнения, что основы эйнштейновской СТО следует сохранить, расширяя при этом сами понятия расстояний, размеров, промежутков времени применительно к практическим нуждам (см., например, [2]: “Приложение”). Экспериментальные данные последнего времени, впрямую демонстрирующие независимость скорости света от скорости релятивистского источника, представляю дополнительный вклад в копилку обоснований СТО [3]. Тем не менее, некоторыми исследователями приводятся аргументы, указывающие, по их мнению, на ошибочность исходных положений СТО Эйнштейна, в частности, на существование абсолютного пространства и возможность введения выделенной ИСО (инерциальной системы отсчета). В данном случае автор не вступает в общую дискуссию. Цель настоящей статьи лишь в том, чтобы проанализировать один из доводов, который указывает, по мнению его сторонников, на ошибочность положений эйнштейновской СТО: сложение скоростей света и его приемника происходит по классическому (не релятивистскому) правилу. Ниже подробно рассматривается этот вопрос.

Если в ИСО  $K$ , принятой за лабораторную, движутся две частицы со скоростями  $\vec{v}_1$  и  $\vec{v}_2$ , то как известно, в качестве одной из характеристик их совокупного движения в кинематике вводится понятие относительной скорости частиц  $\vec{u} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ . Вектор  $\vec{u}$ , таким образом, вводится определением как векторная сумма  $\vec{v}_2$  и  $-\vec{v}_1$ . Поставив вместо частицы 2 волновой фронт узкого пучка света (в дальнейшем – фронт луча), имеющий скорость  $\vec{c}$ , а скорость частицы 1 обозначив  $\vec{v}_1 = \vec{v}$ , получим для таких объектов выражение для относительной скорости  $\vec{u} = \vec{c} - \vec{v}$ . Считая частицу 1 приемником и луч света движущимся, например, вдогонку за ним вдоль одной прямой, найдем величину относительной скорости  $u=c-v$  с очевидным геометрическим смыслом: это сокращение расстояния между лучом и приемником за секунду при измерении в ИСО  $K$ . При встречном движении тех же объектов  $u=c+v$ , что СТО не противоречит, поскольку величина  $u$  содержит скорости двух объектов в рамках одной ИСО. В рассматриваемом варианте вопрос о том, складывается ли скорость света со скоростью приемника, риторический: безусловно складывается, не может не складываться, такого рода сложение обусловлено самим фактом существования объектов и их движения, не требует каких-либо иных допущений.

В таком ключе имеет смысл рассматривать также относительную скорость луча и источника.

Вернемся к случаю “луч – приемник”. Приведенный выше пример движения луча и приемника вдоль одной прямой, когда  $u=c+v > c$  не

исключительный случай. В источнике [4] рассматривается “скорость света внутри трубы” (телескопа) при наличии абберации света от звезды. Уточним смысл этой величины, т. е. скорости света.

В качестве неподвижной эфирной ИСО  $K$  принимается система, где удаленные звезды могут считаться неподвижными, а Земля ( $Z$ ) движется со скоростью  $v = 3 \cdot 10^4$  м/с по орбите вокруг Солнца. В рассматриваемой системе имеются два подвижных объекта: луч от звезды и наблюдатель на  $Z$ . Для ясности в качестве последнего рассматриваем окуляр телескопа. Если в некоторый момент времени открывается объектив, то упомянутые объекты движутся, хотя и не вдоль одной прямой, но также на сближение как луч и приемник. Рассматриваем звезду, направление на которую перпендикулярно плоскости земной орбиты, следовательно нормально относительно скорости  $Z$ . Направим ось  $y$  неподвижной ИСО  $K$  на звезду. Скорость  $Z$ .  $\vec{v}$  направлена по касательной к орбите. Ось  $x$  направим вдоль  $\vec{v}$ , считая, что  $Z$ . на небольшом временном промежутке движется по прямой вдоль этой оси. Тогда исследуемые объекты *окуляр* и *фронт луча* в системе  $K$  движутся по двум взаимно перпендикулярным осям  $x, y$ . Введем также подвижную ИСО  $K'$ , связанную с  $Z$ . в орбитальном движении. Это будет система, движущаяся со скоростью  $v$  вдоль оси  $x$  системы  $K$ . Чтобы свет попал в окуляр наблюдателя в  $K'$ , труба телескопа должна быть наклонена на некоторый угол по направлению движения (явление абберации).

Далее о скоростях. В  $K$  луч движется в отрицательном направлении оси  $y$ , следовательно, можно записать

$$\vec{c} = -c\vec{j}. \quad (1)$$

Для окуляра

$$\vec{v} = v\vec{i}, \quad (2)$$

где  $\vec{i}, \vec{j}$  – единичные векторы осей. Относительная скорость объектов в  $K$

$$\vec{u} = \vec{c} - \vec{v} = -c\vec{j} - v\vec{i}, \text{ ее величина}$$

$$u = \sqrt{v^2 + c^2}. \quad (3)$$

Направлен вектор  $\vec{u}$  вдоль трубы. Таким образом, “скорость света внутри трубы” де-факто есть по определению взаимная относительная скорость окуляра и луча в  $K$ . Непосредственно она в  $K$  не фиксируется, т. к. нет наблюдателя неподвижного в этой ИСО, хотя в принципе наличие такого наблюдателя вероятно возможно. Фиксированное в (3) значение  $u > c$  для системы  $K$  не противоречит СТО по причине уже упомянутой выше.

Реальный наблюдатель имеется в системе  $K'$ , где приемник (окуляр) неподвижен. Закономерен вопрос: в такой  $K'$  будет ли величина скорости света  $c' = u$ ? Такой же вопрос правомерен и во всех других случаях, когда вводится ИСО, где приемник покоится. Для ответа на поставленный вопрос необходимо учесть, что введение системы  $K'$  означает введение нового координатно-временного пространства, пусть и с такими же часами. Это ведет к изменению относительной скорости луча и приемника от  $\vec{u} = \vec{c} - \vec{v}$  в  $K$  до  $\vec{u}' = \vec{c}' - \vec{v}'$  в  $K'$ . В случае, когда приемник в  $K'$  покоится,  $\vec{v}' = 0$  и получаем

$$u' = c'. \quad (4)$$

Нас интересует связь  $\vec{c}$  и  $\vec{c}'$ . Связь между ними определяется правилом сложения скоростей уже нового качества, т. к. теперь речь идет о взаимозависимости двух скоростей одного объекта (луча) в разных системах отсчета в отличие от сложения скоростей двух объектов в одной системе.

В том случае, когда относительная скорость двух объектов инвариант,  $\vec{u} = \vec{u}'$ , с учетом (4) будет  $\vec{c}' = \vec{u}$  и для абберационного примера

$$c' = u = \sqrt{v^2 + c^2}. \quad (5)$$

Но инвариантность  $\vec{u}$  имеет место, как известно, в случае, если  $K'$  и  $K$  связаны преобразованием Галилея, где время не преобразуется. Такова цена вопроса, чтобы принять скорость света  $c'$  в системе  $K'$  телескопа в абберационном опыте согласно (5). Однако принятие как общеприменимых галилеевских преобразований, конечно, невысказано. Принятие же лоренцевых преобразований для “скорости света в трубе” в системе  $K'$  означает  $c' = c$ .

От вида преобразований между  $K$  и  $K'$  в абберационном опыте зависит угол абберации. Однако выражения для этого угла классическое и релятивистское при  $\beta = \frac{v}{c} = 10^{-4}$  настолько малы, что опытным путем практически невозможно проверить, какое из них предпочтительнее.

В источнике [4] в качестве доказательства нерелятивистского правила сложения скоростей с участием света и приемника имеются также ссылки на результаты астрономических наблюдений времен затмений спутника Юпитера (Ю.) в различных положениях  $Z$  на околосолнечной орбите. Подробные числовые соображения при этом не приводятся, а лишь утверждается со ссылкой на результаты наблюдений, что “классическая формула сложения скоростей работает безупречно”.

Ниже приводится оценочный расчет, ставящий под сомнение категоричность последнего утверждения. Общие соображения следующие.

В конечном счете результаты наблюдений за спутником  $Ю$  земным наблюдателем зависят от закона, по которому отраженные от спутника солнечные лучи движутся по отношению к  $З$ . В приводимом ниже расчете оцениваются и сравниваются времена прохождения света от спутника к земному наблюдателю, предполагая классический и релятивистский варианты.

Выбираем в качестве неподвижной ИСО  $K$ , где Солнце покоится, а планеты и их спутники движутся по известным орбитам. Считаем, что Солнце, Земля, Юпитер и его ближайший спутник находятся примерно в одной плоскости. Эту плоскость принимаем за координатную  $x, y$  системы  $K$ .

Рассмотрим прохождение отраженного от спутника светового луча, появляющегося в тот момент, когда спутник выходит из тени, создаваемой его планетой. С этого момента луч направляется к  $З$ , чтобы быть принятым приемником в положении, например, ее апогея относительно  $Ю$ . На рисунке с сохранением обозначений источника [4] показаны положения небесных тел в плоскости  $x, y$  в некоторый выбранный за начальный момент  $t_0 = 0$ :

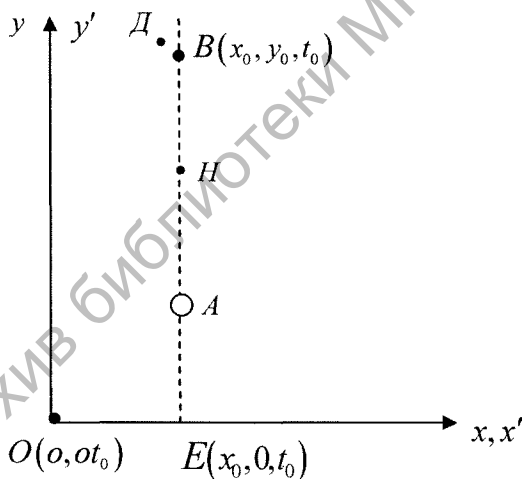


Схема расположения небесных тел  $З$ ,  $Ю$ , Солнца в исходный момент

$A$  – Солнце,  $B$  – Юпитер,  $D$  – ближайший спутник  $Ю$ . в момент  $t_0 = 0$  выхода из тени,  $O$  – Земля,  $E$  – точка апогея  $З$  относительно  $Ю$ ,  $H$  – наиболее близкое к  $Ю$ . возможное положение  $З$ .

Земля, находясь в момент  $t_0 = 0$  в точке  $0$ , принятой за начало координат, на расстоянии  $x_0$  от точки апогея  $E$ , движется со скоростью

$v = 10^4 \text{ м/с}$  к этой точке, так чтобы в некоторый момент  $t$  встретиться с лучом от спутника  $D$ , вышедшего в момент  $t_0 = 0$  из тени  $Ю$ . и также движущегося по направлению к точке апогея  $E$ . Ввиду относительной малости расстояния от  $Ю$ . до его ближайшего спутника принимаем, что появляющийся луч движется от самого  $Ю$ . (точки  $B$ ) примерно в направлении, перпендикулярном оси  $x$  (пунктирная линия). Известными параметрами считаем:  $y_0$  – расстояние от  $З$ . до  $Ю$ . в апогее – сумма радиусов орбит  $З$  и  $Ю$ .,  $y_0 = AE + AD$ ; скорость  $З$ .  $v = 3 \cdot 10^4 \text{ м/с}$  (орбитальная); скорость света в  $K$ :  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ . Время движения луча от  $B$  до  $E$  по часам  $K$  очевидно будет

$$\Delta t = t - t_0 = t = \frac{y_0}{c}, \quad (6)$$

где  $t$  – момент встречи с приемником. Условие встречи луча с приемником в точке  $E$  для системы  $K$ :

$$\frac{x_0}{v} = \frac{y_0}{c}, \quad \frac{x_0}{y_0} = \frac{v}{c}. \quad (7)$$

В дальнейшем считаем условие (7) выполненным. Из (7) можно найти “прицельное” расстояние для  $З$ .

$$x_0 = y_0 \frac{v}{c}. \quad (8)$$

Наблюдателя неподвижного в  $K$  со своей координатно-временной системой реально нет.

Введем теперь подвижную систему  $K'$ , связав ее с  $З$ ., считая ее ИСО на сравнительно малом участке траектории (совпадению нештрихованных и штрихованных осей систем  $K$  и  $K'$  соответствуют  $t = t' = t_0 = 0$ ).

Рассмотрим движение изучаемого луча в  $K'$ .

Координаты земного приемника в  $K'$

$$x'_1 = 0, \quad y'_1 = 0. \quad (9)$$

Помечая координаты фронта луча в  $K'$   $x'_2$  и  $y'_2$ , запишем соответствующие уравнения движения по осям  $x'$ ,  $y'$ :

$$x'_2 = x'_0 + c'_x(t' - t'_0), \quad y'_2 = y'_0 + c'_y(t' - t'_0), \quad (10)$$

где  $c'_x$  и  $c'_y$  проекции скорости фронта луча на штрихованные оси. Соответствие штрихованных и нештрихованных координат в  $K'$  и  $K$ :

$$(x'_0, y'_0, t'_0) - (x_0, y_0, t_0).$$

Факту встречи луча и приемника в  $K'$  соответствуют условия  $x'_1 = x'_2$ ,  $y'_1 = y'_2$ , откуда с учетом (9) и (10) следует:

$$\frac{x'_0}{c_x} + (t' - t'_0) = 0, \quad \frac{y'_0}{c'_y} + (t' - t'_0) = 0. \quad (11)$$

Из (11) ясно, что оба уравнения совместимы при:

$$\frac{x'_0}{c'_x} = \frac{y_0}{c'_y}, \quad \frac{x'_0}{y'_0} = \frac{c'_x}{c'_y}. \quad (12)$$

Пока не было сделано никаких предположений о связи между штрихованными и нештрихованными величинами. Примем теперь, что между  $K$  и  $K'$  действуют галилеевские преобразования. В этом случае  $c'_y = c_y = -c$ ,  $c'_x = -v$  (соответственно  $c'^2 = v^2 + c^2$ ). Опуская подробности, отметим практически очевидный результат: условие (12) будет выполнено, поскольку выполнено (7);  $t'_0 = t_0 = 0$ ,  $x'_0 = x_0$ ,  $y'_0 = y_0$ , момент достижения луча приемником  $t' = t$ ; время движения луча в  $K'$

$$\Delta t' = t' - t'_0 = t - t_0 = t = \Delta t. \quad (13)$$

Далее примем, что между  $K$  и  $K'$  действуют лоренцевы преобразования. В таком случае,  $c'_x = -v$ ,  $c'_y = -c\gamma^{-1}$ , где  $\gamma = (1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}}$ ,  $\beta = 10^{-4}$ ;

$$x'_0 = \gamma(x_0 - vt_0) = \gamma x_0 = \gamma x_0; \quad y'_0 = y_0. \quad (14)$$

Из приведенных выше соотношений вытекает и в этом случае выполнение условия (12).

Время движения луча в  $K'$  из второго уравнения (11):

$$\Delta t' = t' - t'_0 = -\frac{y'_0}{c'_y}, \quad (15)$$

где  $t'_0$  — момент достижения лучом приемника (причем,  $t'_0 \neq 0$ ).

Ввиду приведенных данных и учитывая (6), находим

$$\Delta t' = -\frac{y_0}{-c\gamma^{-1}} = \gamma \frac{y_0}{c} = \gamma \Delta t, \quad (16)$$

откуда

$$\frac{\Delta t'}{\Delta t} = \gamma > 1.$$

Формула (16) определяет пересчет времени движения луча в  $K'$  к времени того же движения по часам  $K$ . Дадим численную оценку. Величина  $\Delta t$  может быть найдена из (6), поскольку  $y_0 = EA + AB$  – сумма радиусов орбит  $Z$  и  $Ю$ . Известная величина:  $EA \approx 5,2$  а.е.,  $AB=1$  а.е.,  $y_0 = 6,2$  а.е. =  $6,2 \cdot 1,5 \cdot 10^{11}$  м. Тогда

$$\Delta t = \frac{y_0}{c} = \frac{6,2 \cdot 1,5 \cdot 10^{11}}{3 \cdot 10^8} = 3,1 \cdot 10^3 \text{ с};$$

$$\gamma = (1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}} \cong 1 + \frac{1}{2} \beta^2 = 1 + 5 \cdot 10^{-9}.$$

Подставив найденные значения в (16), получим

$$\Delta t' = 3,1 \cdot 10^3 (1 + 5 \cdot 10^{-9}) = (3,1 \cdot 10^3 + 15,5 \cdot 10^{-6}) \text{ с}.$$

Таким образом, ко времени  $\Delta t$  в несколько тысяч секунд прибавляется 15 микросекунд.

Хотя приведенный расчет носит абстрактный, оценочный характер, полученный результат, по мнению автора, указывают на то, что результаты экспериментов по наблюдению затмений спутника  $Ю$ , проводимые в наблюдениях с  $Z$ , не дают возможности определиться, действуют ли между  $K$  и  $K'$  преобразования Галилея или Лоренца. Другими словами, результаты наблюдений в земной системе  $K'$  практически такие же, какие получил бы наблюдатель системы  $K$  (если бы он существовал) независимо от того, связаны  $K$  и  $K'$  галилеевскими или лоренцевыми преобразованиями. Главная причина – “нерелятивистскость” орбитальной скорости Земли при  $\beta = 10^{-4}$ .

По указанным основаниям данные наблюдений по спутнику Юпитера, по мнению автора, не могут рассматриваться как доказательство справедливости “главного аргумента против СТО”, касающегося сложения скоростей.

В заключение, не приводя подробностей, отметим, что применение так называемых обобщенных преобразований Лоренца, согласно работ [5, 6], где вводится выделенная ИСО стационарного эфира и скорость света анизотропна при переходе к ИСО, движущимся относительно выделенной системы, дает для соотношения времен  $\Delta t$  и  $\Delta t'$  применительно к задаче о затмении спутника, рассмотренной выше, тот же порядок величин с той лишь разницей, что в этом случае получается  $\Delta t' < \Delta t$  в отличие от лоренцева варианта, где  $\Delta t' > \Delta t$ .



**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. **Bryant, Steven.** Revisiting the Michelson-Morley experiment reveals Earth orbit velocity of 30 km/c / Steven Bryant // Galilean Electrodynamics. – 2008. – Vol. 19. – № 3. – P. 51–56.
2. **Хрюнов, А.В.** Основы релятивистской физики / А.В. Хрюнов. – М. : Физмат-книга, 2003. – С. 448.
3. Эксперименты по прямой демонстрации независимости скорости света от скорости движения источника / Е.Б. Александров [и др.] // Успехи физических наук. – 2011. – Т. 181. – № 12. – С. 1345–1351.
4. **Акимов, О.Е.** Главный аргумент против теории относительности / О.Е. Акимов // Internet. Sceptic Ratio.
5. **Купряев, Н.В.** Расширенное представление преобразований Лоренца / Н.В. Купряев // Известия высших учебных заведений. Физика. – 1999. – № 7. – С. 8–14.
6. **Купряев, Н.В.** Электродинамика с позиций стационарного эфира / Н.В. Купряев // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2006. – № 10. – С. 8–13.