

01

К работе Г.Б. Малыкина и В.И. Поздняковой «К вопросу о скорости движения светового „зайчика“ по экрану цилиндрической формы»

© Н.В. Купряев

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Самарский филиал,
443011 Самара, Россия
e-mail: kuprjaev@front.ru

(Поступило в Редакцию 5 декабря 2016 г.)

Показано, что в работе Г.Б. Малыкина и В.И. Поздняковой «К вопросу о скорости движения светового „зайчика“ по экрану цилиндрической формы», опубликованной в первом выпуске ЖТФ за 2007 год, допущены неточности при расчете скорости движения светового „зайчика“ по экрану цилиндрической формы. В результате получены неправильные формулы расчета скорости движения светового „зайчика“ применительно к классической механике и к преобразованию Тангерлини. Приведены правильные формулы расчета скорости движения светового „зайчика“ по экрану цилиндрической формы применительно к классической механике и к преобразованию Тангерлини.

DOI: 10.21883/JTF.2017.07.44665.2127

В первом выпуске ЖТФ за 2007 г. [1] была опубликована работа Г.Б. Малыкина и В.И. Поздняковой «К вопросу о скорости движения светового „зайчика“ по экрану цилиндрической формы», в которой предлагался метод проверки анизотропии скорости света с помощью светового „зайчика“, движущегося со сверхсветовой скоростью по экрану цилиндрической формы.

По мнению авторов [1], если имеет место анизотропия скорости света в движущейся инерциальной системе отсчета (ИСО) S' , должна меняться скорость движения светового „зайчика“ по экрану цилиндрической формы в зависимости от угла, под которым направлен свет от вращающегося прожектора.

К сожалению, в работе при расчете скорости движения светового „зайчика“ в ИСО S' были допущены неточности. Так применительно к классической механике ($V \ll c$) при расчете скорости движения „зайчика“ по экрану цилиндрической формы вместо формулы скорости света в ИСО S' (см. Приложение в конце работы)

$$c' = c \left(\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2} \sin^2 \theta'} - \frac{V}{c} \cos \theta' \right), \quad (1)$$

где V — скорость ИСО S' относительно эфира (ИСО S). Эта формула, выраженная через скорость v'_{aeth} эфира относительно ИСО S' применительно к ситуации [1], имеет вид

$$c' = c \left(\sqrt{1 - \frac{v'^2_{\text{aeth}}}{c^2} \sin^2 \theta'} + \frac{v'_{\text{aeth}}}{c} \cos \theta' \right), \quad (2)$$

где θ' — угол, под которым распространяется свет в ИСО S' и под которым направлен прожектор. Была

ошибочно использована формула

$$c' = c \sqrt{1 + 2 \frac{v'_{\text{aeth}}}{c} \cos \theta + \frac{v'^2_{\text{aeth}}}{c^2}}, \quad (3)$$

где θ — угол, под которым распространяется свет в ИСО S , но не в ИСО S' . Формула (3), выраженная через скорость V ИСО S' , имеет вид

$$c' = c \sqrt{1 - 2 \frac{V}{c} \cos \theta + \frac{V^2}{c^2}}. \quad (4)$$

В результате для скорости v'_{proj} движения светового „зайчика“ по экрану цилиндрической формы в ИСО S' применительно к классической механике ($v'_{\text{aeth}} \ll c$) была ошибочно получена формула

$$v'_{\text{proj}}(t) = R' \Omega \times \frac{\left(1 + \frac{v'_{\text{aeth}}}{c} \cos \Omega t\right) \sqrt{1 + 2 \frac{v'_{\text{aeth}}}{c} \cos \Omega t + \frac{v'^2_{\text{aeth}}}{c^2}}}{\left(1 + 2 \frac{v'_{\text{aeth}}}{c} \cos \Omega t + \frac{v'^2_{\text{aeth}}}{c^2}\right)^{3/2} + R' \Omega \frac{v'_{\text{aeth}}}{c^2} \sin \Omega t}, \quad (5)$$

где $\Omega t = \theta$ — угол, под которым распространяется свет в ИСО S , но не в ИСО S' , в момент времени t , Ω — угловая скорость вращения прожектора в ИСО S , R' — расстояние от источника излучения до экрана в ИСО S' , которая не совсем правильно описывает движения „зайчика“.

В действительности формула (3) или, что то же самое, формула (4) представляет собой не скорость света в ИСО S' (см. Приложение в конце работы), а лишь преобразование скорости света при переходе из ИСО S в ИСО S' .

В самой ИСО S' скорость света применительно к классической механике определяется не формулой (3), а формулой (1) (см. Приложение в конце работы),

или, что то же самое, формулой (2), если V выразить через v'_{aeth} . В результате для скорости v'_{proj} движения светового „зайчика“ по экрану цилиндрической формы в ИСО S' применительно к классической механике ($V \ll c$) получается не формула (5), а формула

$$v'_{\text{proj}}(t') = \frac{R'\Omega'}{1 - \frac{V}{c} \frac{\cos \Omega't'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2} \sin^2 \Omega't'}}} \frac{\sin \Omega't'}{\left(\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2} \sin^2 \Omega't'} - \frac{V}{c} \cos \Omega't'}\right)^2} \quad (6)$$

где $\Omega't' = \theta'$ — угол, под которым распространяется свет в ИСО S' и под которым направлен прожектор в ИСО S' в момент излучения t' света; Ω' — угловая скорость вращения прожектора в ИСО S' . Эта формула в отличие от (5) правильно описывает движения „зайчика“ в классической механике.

Применительно же к преобразованию Тангерлини [2] авторы [1] формулу для скорости света c' в ИСО S' практически правильно написали, но не совсем точно. Вместо правильной формулы

$$c' = \frac{c}{1 - \frac{v'_{\text{aeth}}}{c} \left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right) \cos \theta'} \quad (7)$$

(эта формула, если v'_{aeth} выразить через скорость V ИСО S' относительно эфира (ИСО S)) имеет вид

$$c' = \frac{c}{1 + \frac{V}{c} \cos \theta'} \quad (8)$$

было ошибочно записано

$$c' = \frac{c}{1 - \frac{v'_{\text{aeth}}}{c} \cos \theta'} \quad (9)$$

И в результате для скорости v'_{proj} движения светового „зайчика“ по экрану цилиндрической формы в ИСО S' применительно к преобразованию Тангерлини была ошибочно получена формула

$$v'_{\text{proj}}(t') = \frac{R'\Omega'}{1 + R'\Omega' \frac{v'_{\text{aeth}}}{c^2} \sin \Omega't'} \quad (10)$$

которая не совсем правильно описывает поведение движения „зайчика“ по экрану цилиндрической формы применительно к преобразованию Тангерлини.

В действительности получается формула

$$v'_{\text{proj}}(t') = \frac{R'\Omega'}{1 + R'\Omega' \frac{v'_{\text{aeth}}}{c^2} \left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right) \sin \Omega't'} \quad (11)$$

или, что то же самое, если v'_{aeth} выразить через скорость V ИСО S' относительно эфира (ИСО S)

$$v'_{\text{proj}}(t') = \frac{R'\Omega'}{1 - R'\Omega' \frac{V}{c^2} \sin \Omega't'} \quad (12)$$

которая правильно описывает поведение движения „зайчика“ по экрану цилиндрической формы в ИСО S' в рамках преобразования Тангерлини.

Зависимости $v'_{\text{proj}}(t')$, рассчитанные с помощью формул (12) и (6), практически не различаются и при $V \ll c$ совпадают. Кроме того, формулы (12) и (6) по форме похожи друг на друга и различаются лишь коэффициентами при $\sin \Omega't'$. Формула (12) является при этом точной, т.е. при больших V , а формула (6) приближенной, т.е. при $V \ll c$.

Формулы же (10) и (5), полученные авторами [1], даже по форме сильно различаются. Поэтому даже по одному этому признаку можно было догадаться, что формула (5) является ошибочной.

Поэтому в действительности, если имеет место анизотропия скорости света в движущейся ИСО S' , поведение движения „зайчика“ по экрану цилиндрической формы в ИСО S' описывается не формулами (5) или (10), а формулами (6) при $V \ll c$ или (12) при больших V .

Приложение

То, что в ИСО S' скорость c' света применительно к классической механике определяется именно формулой (1) или, что то же самое, формулой (2), а не (3), легко доказать. Действительно, в классической механике скорости (v_x, v_y, v_z) и (v'_x, v'_y, v'_z) в ИСО S и S' связаны преобразованием

$$v'_x = v_x - V, \quad v'_y = v_y, \quad v'_z = v_z. \quad (13)$$

Записывая преобразование (13) в виде

$$v' \equiv \sqrt{v'^2_x + v'^2_y + v'^2_z} = \sqrt{v^2 - 2v_x V + V^2}$$

и введя обозначения $v' = c'$, $v = c$, $v_x = c \cos \theta$, получаем формулу преобразования скорости света при переходе из ИСО S в ИСО S' :

$$c' = c \sqrt{1 - 2 \frac{V}{c} \cos \theta + \frac{V^2}{c^2}},$$

которая совпадает с (4).

Чтобы найти теперь скорость c' света в самой ИСО S' , т.е. выраженной через угол θ' , под которым распространяется свет в ИСО S' и под которым направлен прожектор, угол θ в формуле (4) нужно преобразовать. Для этого нужно, например, переписать преобразование компоненты v_x в преобразовании (13) в виде

$$c' \cos \theta' = c \cos \theta - V,$$

найти отсюда

$$\cos \theta = \frac{c' \cos \theta' + V}{c}$$

и подставить полученное выражение в преобразование скорости света (4). В результате получится

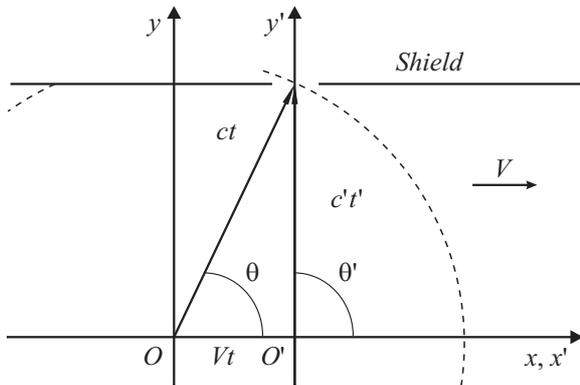
$$c' = \sqrt{c^2 - 2Vc' \cos \theta' - V^2}.$$

Решая уравнение относительно c' , и получаем в итоге искомую скорость света в ИСО S'

$$c' = c \left(\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2} \sin^2 \theta'} - \frac{V}{c} \cos \theta' \right),$$

которая совпадает с (1).

Это и есть, таким образом, скорость света c' в ИСО S' применительно к классической механике. Очевидно, что направление распространения света в ИСО S' (угол θ') совпадает с направлением прожектора. Действительно, предположим, что в начале координат ИСО S' в точке O' (см. рисунок) находится неподвижно точечный источник световых волн и пусть на некотором расстоянии от начала координат вдоль оси y' находится перпендикулярно оси y' экран с отверстием. Это модель прожектора. Прожектор направлен вдоль оси y' . ИСО S' , очевидно, движется относительно ИСО S (эфира) со скоростью V вдоль положительной оси x .



Рисунок

Пусть в момент времени $t' = t = 0$ источник излучает сферическую волну (штриховая кривая), которая в ИСО S (в эфире) расширяется со скоростью c . Эта волна достигает центра отверстия в экране в момент времени $t' = t$. Радиус волны в ИСО S в момент t составляет ct , а в ИСО S' $c't$ или, что то же самое, $c't'$. ИСО S' переместится при этом относительно ИСО S на расстояние Vt вправо от начала координат ИСО S . Далее волна вырезается отверстием в экране и распространяется в виде отдельного сегмента волны.

Этот сегмент волны (свет) распространяется в ИСО S под углом θ к положительной оси x со скоростью c . X -компонента c_x этой скорости в ИСО S равна V и направлена вдоль положительной оси x , а в ИСО S' x -компонента этой скорости, согласно преобразованию (13), равна нулю: $c'_x = c_x - V = 0$. То есть, таким образом, волна (свет) в ИСО S' распространяется под тем же самым углом, что и прожектор, т.е. вдоль оси y' в полном соответствии с формулой (1). Скорость света равна $c' = c \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$.

Если же прожектор направить вдоль оси x' , то свет (волна) также будет распространяться вдоль той же

оси x' , т.е. опять под тем же самым углом, что и прожектор. Скорость света будет равна $c_{\pm} = c \pm V$, т.е. опять в полном соответствии с формулой (1). Здесь плюс соответствует свету, распространяющемуся влево, минус — вправо.

То есть, таким образом, мы показали, что скорость света в классической механике определяется именно формулой (1), а не (3) (или, что то же самое, формулой (4)). Свет в ИСО S' распространяется под тем же самым углом, что и прожектор. В ИСО S направление распространения света и направление прожектора не совпадают.

Список литературы

- [1] Малыкин Г.Б. // ЖТФ. 2007. Т. 77. Вып. 1. С. 138–140.
- [2] Малыкин Г.Б. // УФН. 2009. Т. 179. С. 289.