

01;12

К вопросу о скорости движения светового „зайчика“ по экрану цилиндрической формы

© Г.Б. Малыкин, В.И. Позднякова

Институт прикладной физики РАН,
603950 Нижний Новгород, Россия
e-mail: malykin@ufp.appl.-sci.nnov.ru

(Поступило в Редакцию 30 мая 2006 г.)

Показано, что если имеет место анизотропия скорости света в вакууме, то скорость движения светового „зайчика“ по экрану цилиндрической формы будет меняться в зависимости от угла, под которым направлен источник излучения. Отсутствие данной зависимости может послужить прямым доказательством изотропии скорости света или, иными словами, справедливости второго постулата специальной теории относительности.

PACS: 03.30.+p

В наших предыдущих работах [1,2] было показано: в случае, если скорость света имеет анизотропию, т.е. ее величина различается для различных направлений распространения, то линейная скорость движения луча прожектора, вращающегося с постоянной угловой скоростью, по экрану цилиндрической формы (так называемый световой „зайчик“) будет неравномерной. В [2] было предложено использовать этот факт для проверки справедливости второго постулата специальной теории относительности (СТО), для чего был рассмотрен метод, основанный на возбуждении излучения Вавилова–Черенкова с помощью виртуального электрического заряда [3–5], который, в свою очередь, возникает под воздействием рентгеновского „зайчика“, движущегося со сверхсветовой скоростью.

Следует отметить, что в [2] выражение для линейной скорости „зайчика“ было приведено без вывода и, более того, содержало ряд неточностей. Цель настоящего сообщения — привести подробный вывод рассматриваемого выражения, а также предложить более простой по сравнению с [2] способ проверки изотропии скорости света.

Пусть по экрану, который имеет форму круглого цилиндра с радиусом R , движется луч прожектора, вращающегося с угловой скоростью Ω . Прожектор находится на оси цилиндра, размеры прожектора полагаем бесконечно малыми по сравнению с R , т.е. луч выходит непосредственно из центра. При достаточно большом расстоянии R от прожектора до экрана, когда выполняется условие $v_{\text{proj}} = R\Omega > c$ (где v_{proj} — линейная скорость движения „зайчика“ по экрану, c — скорость света в вакууме) „зайчик“ может иметь сверхсветовую фазовую скорость v_{proj} .

В рамках СТО скорость света является изотропной, т.е. не зависит от направления движения, причем в любой инерциальной системе отсчета (ИСО). Но в теории „светоносного эфира“ полагается, что скорость света изотропна и равна c только в самом эфире —

среде, где движется свет. В любой другой ИСО, относительно которой эфир равномерно и прямолинейно движется, скорость света вычисляется в соответствии с галилеевским законом сложения скоростей. В общем случае направление вектора скорости света \mathbf{c} , совпадающее с направлением прожектора, и направление вектора скорости эфира \mathbf{v}_{aeth} не совпадают. Без потери общности можно положить, что скорость эфира \mathbf{v}_{aeth} направлена вдоль оси X . Приведем вывод формулы для линейной скорости движения „зайчика“ по экрану, предполагая, что скорость света не изотропна и равна $\mathbf{V} = \mathbf{c} + \mathbf{v}_{\text{aeth}}$.

Угол распространения излучения ϕ и его скорость V следующим образом зависят от времени t

$$\begin{aligned}\phi(t) &= \arctg \frac{\sin \Omega t}{\cos \Omega t + \frac{v_{\text{aeth}}}{c}} = \arctg \frac{\sin \theta}{\cos \theta + \frac{v_{\text{aeth}}}{c}}, \\ V(t) &= c \sqrt{1 + \frac{v_{\text{aeth}}^2}{c^2} + 2 \frac{v_{\text{aeth}}}{c} \cos \Omega t} \\ &= c \sqrt{1 + \frac{v_{\text{aeth}}^2}{c^2} + 2 \frac{v_{\text{aeth}}}{c} \cos \theta},\end{aligned}\quad (1)$$

где $\theta = \Omega t$ — угол, под которым направлен прожектор в момент времени t . Как следует из (1), в общем случае при произвольном значении t и $v_{\text{aeth}} \neq 0$ $\theta(t) \neq \phi(t)$, т.е. угол под которым направлен прожектор, и угол, под которым распространяется свет, не совпадают.

Излучение, испущенное прожектором в момент t , достигает экрана в момент времени

$$T(t) = t + \frac{R}{V(t)} = t + \frac{R}{c \sqrt{1 + \frac{v_{\text{aeth}}^2}{c^2} + 2 \frac{v_{\text{aeth}}}{c} \cos \Omega t}}.$$

За время $T(t + \Delta t) - T(t)$ „зайчик“ на экране пройдет путь $R(\phi(t + \Delta t) - \phi(t))$. Таким образом, мгновенная скорость движения изображения по экрану

$$v_{\text{proj}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(\phi(t + \Delta t) - \phi(t))}{T(t + \Delta t) - T(t)}.$$

Поскольку и числитель, и знаменатель данного выражения стремятся к нулю при $\Delta t \rightarrow 0$, то для нахождения предела воспользуемся правилом Лопиталя [6]:

$$\begin{aligned} & \frac{d}{d\Delta t}(\phi(t + \Delta t) - \phi(t)) \\ &= \frac{d}{d\Delta t} \arctg \frac{\sin \Omega(t + \Delta t)}{\cos \Omega(t + \Delta t) + \frac{v_{\text{aeth}}}{c}} \\ &= \Omega \frac{1 + \frac{v_{\text{aeth}}}{c} \cos \Omega(t + \Delta t)}{1 + \frac{v_{\text{aeth}}^2}{c^2} + 2 \frac{v_{\text{aeth}}}{c} \cos \Omega(t + \Delta t)}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{d}{d\Delta t}(T(t + \Delta t) - T(t)) \\ &= \frac{d}{d\Delta t} \left(\Delta t + \frac{R}{c \sqrt{1 + \frac{v_{\text{aeth}}^2}{c^2} + 2 \frac{v_{\text{aeth}}}{c} \cos \Omega(t + \Delta t)}} \right) \\ &= 1 + R\Omega \frac{\frac{v_{\text{aeth}}}{c^2} \sin \Omega(t + \Delta t)}{\left(1 + \frac{v_{\text{aeth}}^2}{c^2} + 2 \frac{v_{\text{aeth}}}{c} \cos \Omega(t + \Delta t)\right)^{3/2}}. \end{aligned}$$

Окончательно получаем

$$\begin{aligned} v_{\text{proj}}(t) &= \\ & \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R\Omega \left(1 + \frac{v_{\text{aeth}}}{c} \cos \Omega(t + \Delta t)\right) \left(1 + \frac{v_{\text{aeth}}^2}{c^2} + 2 \frac{v_{\text{aeth}}}{c} \cos \Omega(t + \Delta t)\right)^{1/2}}{\left(1 + \frac{v_{\text{aeth}}^2}{c^2} + 2 \frac{v_{\text{aeth}}}{c} \cos \Omega(t + \Delta t)\right)^{3/2} + R\Omega \frac{v_{\text{aeth}}}{c^2} \sin \Omega(t + \Delta t)} \\ &= R\Omega \frac{\left(1 + \frac{v_{\text{aeth}}}{c} \cos \Omega t\right) \left(1 + \frac{v_{\text{aeth}}^2}{c^2} + 2 \frac{v_{\text{aeth}}}{c} \cos \Omega t\right)^{1/2}}{\left(1 + \frac{v_{\text{aeth}}^2}{c^2} + 2 \frac{v_{\text{aeth}}}{c} \cos \Omega t\right)^{3/2} + R\Omega \frac{v_{\text{aeth}}}{c^2} \sin \Omega t}. \end{aligned} \quad (2)$$

Из выражения (2) следует, что скорость движения „зайчика“ по экрану неравномерна и при условии $R\Omega > c^2/v_{\text{aeth}}$ даже дважды меняет знак за период обращения прожектора.

Рассмотрим вопрос о скорости v_{aeth} . Около 30 лет назад было показано [7], что реликтовое фоновое излучение имеет анизотропию по угловому направлению. Отсюда был сделан вывод, что Земля движется со скоростью приблизительно 360 km/s относительно некоторой привелегированной ИСО, в которой суммарный импульс всех масс во Вселенной равен нулю [7]. В работах [8–10] было высказано предположение о том, что скорость света изотропна только в указанной привелегированной ИСО, в других же ИСО имеет место анизотропия скорости света, при этом зависимость скорости света от

направления распространения ϕ имеет вид

$$c_{\text{pmtes}}V(\phi) = c / \left(1 + \frac{v}{c} \cos \phi\right), \quad (3)$$

где v — скорость ИСО, в которой производится измерение относительно привелегированной ИСО выражение (3) впервые было предложено еще в [11], но только после обнаружения анизотропии реликтового излучения [7] оно привлекло широкое внимание. Выражение (3) позволяет объяснить отрицательные результаты экспериментов Майкельсона–Морли [12,13] по обнаружению движения Земли относительно „светового эфира“: сумма времен распространения света вдоль плеча интерферометра Майкельсона длины L в прямом (t^+) и обратном (t^-) направлениях всегда постоянна и не зависит от скорости ИСО v и угла ϕ : $t^+ + t^- = L/V(\Theta) + L/V(\Theta + \pi) = 2L/c$. Вследствие этого в [10,14] было высказано предположение о возможности существования „новой теории эфира“. Поскольку рассматриваемая ИСО движется относительно эфира (привелегированной ИСО) со скоростью v , то скорость движения эфира составит $v_{\text{aeth}} = -v$ и в соответствии с [8–10]:

$$V(\phi) = c / \left(1 - \frac{v_{\text{aeth}}}{c} \cos \phi\right). \quad (4)$$

Отметим здесь одно существенное отличие классической модели эфира, основанной на применении галилеевского закона сложения скоростей, от модели [8–11]. В первом случае, если прожектор не вращается ($\theta = \text{const}$), и его луч падает на некоторую точку экрана, суточное вращение Земли должно вызвать незначительное изменение положения этой точки, поскольку в этом случае $\phi(t) \neq \theta$ ¹ (1). Во втором случае изменения положения точки не должно происходить, так как в этом случае направление распространения света всегда совпадает с направлением прожектора $\phi = \theta$ (3).

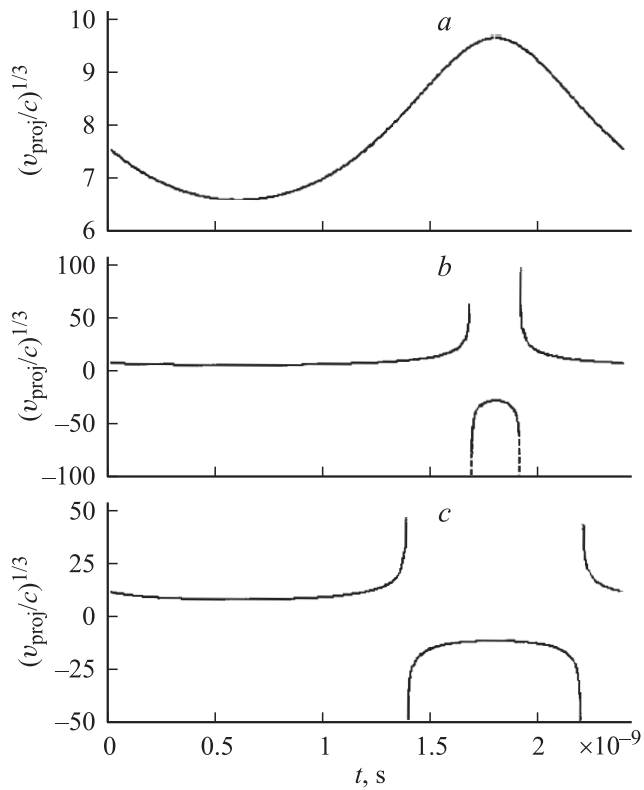
Как нетрудно показать, выражение для скорости „зайчика“ v_{proj} для случая (3) имеет вид²

$$v_{\text{proj}}(t) = \frac{R\Omega}{1 + \frac{R\Omega v_{\text{aeth}}}{c^2} \sin \Omega t}. \quad (5)$$

Для вычисления зависимости $v_{\text{proj}}(t)$, в соответствии с результатами [7], для численных оценок было положено, что $v_{\text{aeth}} = 360$ km/s. Вычисления проводились для обоих вариантов зависимости скорости света от направления распространения $V(\phi)$, т.е. в соответствии с выражениями (2) и (5), для трех случаев: $\frac{R\Omega v_{\text{aeth}}}{c^2} = \frac{\pi}{6}$; $\frac{\pi}{3}$; $\frac{2\pi}{3}$ ($\Omega \approx 4.2 \cdot 10^8$ Hz, $R = 50$; 100; 200 m). Результаты расчетов приводятся на рисунке. Поскольку скорость

¹ Насколько нам известно, рассматриваемое изменение точки падения луча на экран никем не наблюдалось, что является косвенным подтверждением справедливости второго постулата СТО.

² Вывод выражения (5) не приводится, поскольку он не представляет сложности и аналогичен приведенному выше выводу выражения (2).



Зависимость скорости движения луча прожектора („зайчика“) по экрану цилиндрической формы от времени на одном периоде кругового вращения прожектора. a — $\frac{R\Omega_{\text{aeth}}}{c^2} = \frac{\pi}{6}$; b — $\frac{\pi}{3}$; c — $\frac{2\pi}{3}$.

движения „зайчика“ по экрану меняется в весьма широких пределах, для наглядности по оси ординат отложен кубический корень величины v_{proj}/c . Из рисунка видно, что зависимости $v_{\text{proj}}(t)$, рассчитанные в соответствии с (2) и (5), практически не различаются, что объясняется тем, что при $v_{\text{aeth}} \ll c$ эти выражения совпадают. Кроме того, из рисунка видно, что при выполнении условия $R\Omega v_{\text{aeth}}/c > 1$ скорость движения „зайчика“ по экрану меняется не только по величине, но и по знаку. Последнее обстоятельство можно использовать для проверки второго постулата СТО об изотропии скорости света: отсутствие изменения направления движения „зайчика“ по экрану будет служить прямым доказательством справедливости СТО. Для этого вовсе не обязательно осуществлять вращение луча прожектора по кругу, вполне достаточно сканировать его по угловому направлению в небольшом угловом секторе. При этом суточное вращение Земли приведет к тому, что при определенной средней угловой ориентации прожектора в ходе его углового сканирования в случае существования анизотропии скорости света должны происходить изменения направления движения „зайчика“.

В заключение автор выражает благодарность Н.В. Купряеву за полезное замечание.

Работа частично поддержана грантом совета при президенте РФ по поддержке ведущих научных школ № НШ-7738.2006.2.

Список литературы

- [1] Малыкин Г.Б. // УФН. 2004. Т. 174. № 7. С. 801–804.
- [2] Малыкин Г.Б. // ЖТФ. 2005. Т. 75. Вып. 10. С. 135–138.
- [3] Болотовский Б.М., Гинзбург В.Л. // УФН. 1972. Т. 106. Вып. 4. С. 577–592.
- [4] Bessarab V.A., Gorbunov A.A., Martynenko S.P., Prudkoy N.A. // IEEE Trans. Plasma Sci. 2004. Vol. 32. N 3. P. 1–4.
- [5] Лазарев Ю.Н., Петров П.В., Сырцова Ю.Г. // ЖТФ. 2004. Т. 74. Вып. 11. С. 83–91.
- [6] Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М., 1970. 720 с.
- [7] Smoot G.F., Gorenstein M.V., Muller R.A. // Phys. Rev. Lett. 1977. Vol. 29. N 14. P. 898–901.
- [8] Chang T. // J. Phys. A: Math. Gen. 1980. Vol. 13. N 6. P. L207–L209.
- [9] Rembielinsky J. // Phys. Lett. 1980. Vol. A78. N 1. P. 33–36.
- [10] Flidrzynski A., Nowicki A. // J. Phys. A: Math. Gen. 1982. Vol. 15. N 6. P. 1051–1052.
- [11] Tangherlini F.R. // Nuovo Cimento. 1961. Vol. 20. Suppl. N 1. P. 1–86.
- [12] Michelson A.A. // Am. J. Sci. 1881. Ser. III. Vol. 22. N 128. P. 120–129.
- [13] Michelson A.A., Morley E.W. // Am. J. Sci. 1887. Ser. III. Vol. 34. N 203. P. 333–345.
- [14] Chang T. // Phys. Lett. 1979. Vol. A70. N 1. P. 1–2.