Методические заметки

Скорость света в вакууме движущейся инерциальной системы отсчета (ИСО)

А. В. Мамаев

Аннотация

Если четвертая составляющая 4-скорости частицы в той ИСО, в которой частица покоится, равна скорости света в вакууме покоящейся ИСО, то четвертая составляющая 4-скорости частицы в той ИСО, относительно которой частица движется, оказывается равной скорости света в движущейся ИСО. При этом окончательно исчезает парадокс близнецов и замедление времени в движущейся ИСО.

Альберту Эйнштейну, одному из создателей специальной теории относительности (СТО) [1], приписывают слова [2]: «*Сможете ли вы наблюдать данное явление, зависит от того, какой теорией вы пользуетесь. Теория определяет, что именно можно наблюдать*». А, как показывает история, все теории и науки развиваются так, что истины, видимые глазу (очевидные истины), постепенно заменяются на истины, воспринимаемые умом. Например, движение Солнца и далеких звезд и неподвижность Земли, видимые глазам Птолемея, были через некоторое время заменены движением Земли вокруг Солнца, видимым разуму Коперника.

Из психологии творчества также известно [3], что прежде чем обнаружить что-нибудь новое, не замечаемое другими наблюдателями, чаще всего необходимо сначала сформировать соответствующее новое понятие, дать этому новому понятию определение.

Поэтому сформируем сначала понятие «**скорость света в вакууме движущейся ИСО**».

Это понятие вряд ли считалось имевшим какой-либо смысл вплоть до недавнего времени. В противоположность этому понятию понятие «скорость света в вакууме покоящейся ИСО» было широко известно, поскольку оно входило во второй постулат специальной теории относительности [1]:

«***Каждый луч света движется в «покоящейся» системе координат с определенной скоростью V (в настоящее время эта константа обозначается буквой с и считается равной 299 792 458 м/с, А.М.) независимо от того, испускается ли этот луч света покоящимся или движущимся телом***».

Содержание специальной теории относительности как четырехмерной физической теории пространства и времени впервые отчетливо было вскрыто Германом Минковским. [4, стр.12]"

Затем оказалось, что «***С точки зрения четырехмерной геометрии пространства-времени истинный физический смысл могут иметь лишь четырехмерно-ковариантные величины. В механике точки такими величинами являются четырехмерный скаляр - собственная масса М и четырехмерные вектора скорости U_k, ускорения $d(U_k)/d(t)$, импульса P_k***"[5. стр. 53].

Нас прежде всего сейчас интересует четырехмерный вектор скорости U_k. Он вводится так [6].

Построение четырехмерного вектора (4-вектора) скорости мы будем вести по аналогии с трехмерным пространством, где положение частицы задается трехмерным радиус-вектором $\vec{r}$, а трехмерный вектор (3-вектор) скорости $\vec{v}$ определяется как производная трехмерного радиус-вектора по времени $\vec{v} = d\vec{r}/dt$.

Определить 4-вектор скорости как производную четырехмерного радиус-вектора $\vec{R}$ по времени нельзя. Нам нужен 4-вектор скорости, а для этого 4-вектор приращения $\vec{R}$, т.е. $d\vec{R}$, можно делить только на скаляр (инвариант преобразований Лоренца). Но ни само время, ни его дифференциал инвариантом преобразований Лоренца (скаляром) не являются. В качестве инвариантной величины, зависящей от времени, можно взять или интервал или собственное время частицы.

Пусть в ИСО К координаты частицы за время *dt* изменились на *dx*, *dy*, *dz*, а смещение частицы определяется равенством $dl = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}$.

Рассмотрим мгновенно-сопутствующую частице ИСО *К′* (мгновенно-сопутствующей частице инерциальной системой отсчета называется система, постоянная скорость *V* которой равна мгновенной скорости частицы). В ИСО *К′* за бесконечно малый промежуток времени dt' координаты частицы не меняются: $dx' = dy' = dz' = 0$. Имея в виду инвариантность интервала между событиями, запишем

$$ds^2 = c_0^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 = c_0^2 dt'^2 , \qquad (1)$$

где c_0 = 299 792 458 м/с - скорость света в вакууме покоящейся ИСО.

В ИСО К' промежуток dt' - это промежуток собственного времени. Давайте будем обозначать промежуток собственного времени через $d\tau$. Тогда из равенства (1) имеем

$$d\tau = ds/c_0 = dt\sqrt{1 - (v/c_0)^2} = dt/\gamma \qquad (2)$$

где $\gamma = 1/\sqrt{1 - (v/c_0)^2}$; $v(t)$ – скорость движения частицы (и сопутствующей ей ИСО К') относительно ИСО К.

Итак, введем 4-вектор скорости частицы

$$\vec{U} = d\vec{R}/d\tau . \qquad (3)$$

В координатном представлении этот 4-вектор скорости (3) запишется так

$$u_i = dR_i/d\tau \quad (\text{где } i = 1, 2, 3, 4) \qquad (4)$$

Поскольку $d\tau$ есть инвариант, а $d\vec{R}$ есть вектор, то векторный характер $\vec{U}$ сомнений не вызывает.

Раскроем смысл первых трех компонент 4-вектора скорости $\vec{U}$ из выражения (4).

$$u_\alpha = dx_\alpha / d\tau = \gamma dx_\alpha / dt = \gamma v_\alpha , \ (\text{где } \alpha = 1, 2, 3), \qquad (5)$$

где $\gamma = 1/\sqrt{1 - (v/c_0)^2}$, v_α - компоненты обычной 3-скорости, изменяющейся от нуля до скорости света в вакууме c_0, причем $dx_1 = dx$, $dx_2 = dy$, $dx_3 = dz$.

Величины, определяемые равенствами (5), можно рассматривать как компоненты обычной 3-скорости, изменяющейся от нуля до бесконечности (скорость, изменяющуюся от нуля до бесконечности будем называть здесь галилеевской скоростью и обозначать буквой ***u***, в отличие от лоренцевской скорости, изменяющейся от нуля до скорости света в вакууме c_0, которую мы будем обозначать здесь буквой ***v***. При этом связь между лоренцевской и галилеевской скоростями определяется равенствами [7]

$$u = v/\sqrt{1 - (v/c_0)^2} , \quad v = u/\sqrt{1 + (u/c_0)^2} . \qquad (6)$$

Учитывая, что $x_4 = ic_0 t$, где $i = \sqrt{-1}$, а также равенство (2), найдем четвертую компоненту 4-скорости:

$$u_4 = dx_4 / d\tau = \gamma d(c_0 t)/dt = \gamma c_0 . \qquad (7)$$

Поскольку из (2) и (6) вытекает, что

$$\gamma = 1/\sqrt{1 - (v/c_0)^2} = \sqrt{1 + (u/c_0)^2} , \qquad (8)$$

то в **покоящейся** ИСО (при v = 0, γ = 1) из (7) получим $u_4 = c_0$, а в **движущейся** ИСО (при v ≠ 0, $\gamma \neq 1$) $u_4 = \gamma c_0$.

Следовательно, величину

$$u_4 = \gamma c_0 = c_u = c_0 / \sqrt{1-(v/c_0)^2} = c_0 \sqrt{1+(u/c_0)^2} , \qquad (9)$$

которая является ***четвертой составляющей 4-скорости частицы в вакууме движущейся ИСО***, определяем как ***скорость света в вакууме движущейся ИСО***.

Физически скорость света $\boldsymbol{c_u}$ в вакууме движущейся ИСО может быть не равна c_0 потому, что вследствие сокращения продольных (вдоль направления движения) размеров движущихся вакуумных объемов изменяются диэлектрическая и магнитная проницаемость движущихся вакуумных объемов.

Теперь (**после введения определения 4-скорости света в вакууме движущейся ИСО**) берем световые часы (два параллельные зеркала на расстоянии L_0 (в той ИСО, где часы покоятся) друг от друга, между которыми, попеременно отражаясь, циркулирует световой импульс, на одном из зеркал расположены импульсный источник света, фотодиод и счетчик импульсов). Единица измерения времени этих световых часов, покоящихся в неподвижной ИСО, будет равна

$$E = 2L_0 / c_0 . \qquad (10)$$

Пусть эти световые часы движутся так, что плоскости обоих зеркал перпендикулярны направлению движения часов.

Как мы установили выше, см. равенство (9), свет в вакууме движущейся ИСО распространяется со скоростью

$$c_u = \gamma c_0 , \qquad (11)$$

где c_0 есть скорость света в вакууме покоящейся ИСО; γ есть релятивистский множитель, определяемый выражениями (8).

Тогда после испускания света источником, располагающимся на заднем зеркале световых часов, скорость сближения света с передним зеркалом световых часов равна (c_u - u), а скорость сближения света с задним зеркалом световых часов после отражения света от переднего зеркала равна (c_u + u), где c_u есть скорость света в вакууме движущейся ИСО, u есть галилеевская скорость движения световых часов. Вследствие этого единица времени движущихся часов определяется по формуле:

$$E = L/(c_u - u) + L/(c_u + u)\,, \qquad (12)$$

где $L = L_0/\gamma$ расстояние между зеркалами движущихся световых часов, измеренное из той ИСО, относительно которой эти световые часы движутся со скоростью u.

Подставив в формулу (12) значения $L = L_0/\gamma$, $c_u = \gamma c_0$, $\gamma = \sqrt{1+(u/c_0)^2}$, причем последнее выражение вытекает из равенств (6) и (9), получим, что

$$E = 2L_0/c_0\,, \qquad (13)$$

то есть что единица измерения времени движущихся часов равна единице измерения времени покоящихся часов (формула (13) совпадает с формулой (10)).

Рассмотрим теперь случай, когда световые часы расположены перпендикулярно направлению их движения, показанный на рис. 1 (плоскости зеркал световых часов параллельны направлению движения).

Пусть B_0 есть начало пространственной системы координат инерциальной системы отсчета B, A_0 есть начало координат инерциальной системы отсчета A. Пусть источник света, покоящийся в точке B_0, в момент времени t' = 0 посылает световой сигнал в направления оси y', перпендикулярной направлению движения инерциальной системы отсчета A относительно инерциальной системы отсчета B. Пусть на оси y' системы отсчета B на расстоянии $L_0 = y_0' = y_0$ от точки B_0 установлено зеркало B_1, от которого этот световой сигнал отражается и возвращается в точку B_0. Тогда (поскольку и источник света, и зеркало покоятся в покоящейся системе отсчета B) этот световой сигнал распространяется в покоящейся системе отсчета B со скоростью $\boldsymbol{c_0}$ как при его движении из точки B_0 к зеркалу B_1, так и при его движении от зеркала B_1 к точке B_0, что показано на рис. 1 b). Вследствие этого световой сигнал вернется в точку B_0 через промежуток времени, равный величине

$$\Delta t' = 2L_0/c_0\,, \qquad (14)$$

после излучения этого светового сигнала из точки B_0.

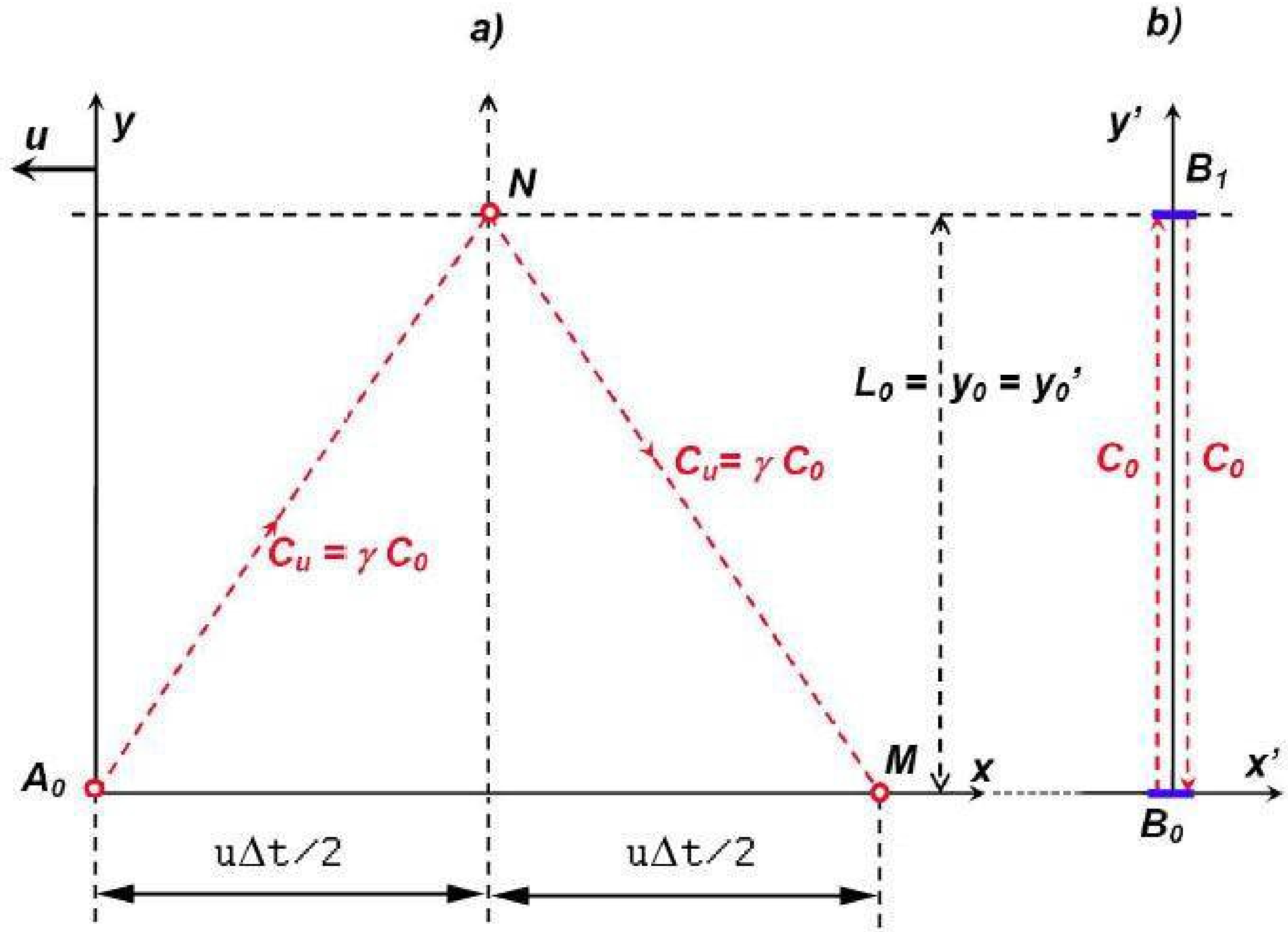

Рис. 1. Распространение света в движущейся ИСО:
a) распространение света в световых часах B_0B_1 в ИСО А с точки зрения наблюдателя, покоящегося в ИСО А, свет движется из точки A_0 в точку N и из точки N в точку M со скоростью $c_u = \gamma c_0$;
b) распространение света в световых часах B_0B_1 в ИСО В с точки зрения наблюдателя, покоящегося в ИСО В, свет движется из точки B_0 в точку B_1 и из точки B_1 обратно в точку B_0 со скоростью c_0 = 299 792 458 м/с.

Рассмотрим теперь распространение этого же светового сигнала в движущейся инерциальной системе отсчета А с точки зрения наблюдателя, покоящегося в неподвижной ИСО В. При этом ИСО А движется относительно ИСО В влево с галилеевской скоростью *u,* что показано на рис. 1 а).

В момент времени t' = 0 точки B_0 и A_0 совпадают друг с другом. Поэтому в инерциальной системе отсчета А излучение этого светового сигнала происходит из точки A_0. За то время, пока световой сигнал движется в системе отсчета В из точки B_0 к зеркалу B_1, сама система отсчета А, двигаясь с галилеевской скоростью ***u*** относительно системы отсчета В, переместится на определенное расстояние. Поэтому отражение света от зеркала B_1 в инерциальной системе отсчета А произойдет в точке N на рис. 3.1 а). А за то время, пока световой сигнал движется в покоящейся системе отсчета В от зеркала B_1 в точку B_0, система отсчета А тоже переместится на определенное расстояние и в тот момент времени, когда световой сигнал придет в системе отсчета В в точку B_0, точка B_0 покоящейся системы отсчета В будет совпадать с точкой М движущейся системы отсчета А.

Вполне очевидно, что A_0N = NM. Очевидно также и то, что путь светового сигнала в движущейся системе отсчета А (равный длинам прямых линий A_0N и NM) будет большим, чем путь этого же светового сигнала в покоящейся системе отсчета В (равный удвоенной длине линии B_0B_1).

Если обозначить через Δt промежуток времени между моментом излучения светового сигнала из точки A_0 и моментом приема этого светового сигнала в точке М движущейся системы отсчета А, то путь, проходимый световым сигналом в системе отсчета А от точки A_0 до точки М, можно определить по теореме Пифагора

$$\mathrm{S} = 2\sqrt{L_0{}^2 + (0{,}5u\Delta\mathrm{t})^2}\ . \qquad (15)$$

Но система отсчета А движется относительно и источника света в точке B_0, и относительно зеркала B_1 со скоростью u (галилеевской). Поэтому мы должны считать, что скорость распространения этого светового сигнала в движущейся инерциальной системе отсчета А вдоль прямых линий A_0N и NM определяется выражением $c_u = \gamma c_0$ (то есть равна скорости света в вакууме движущейся ИСО). Вследствие этого промежуток времени Δt между моментом излучения светового сигнала в точке A_0 и моментом приема сигнала в точке М в движущейся инерциальной системе отсчета А можно вычислить, разделив световой путь S, определяемый уравнением (15), на скорость распространения света в движущейся системе отсчета А, определяемую выражением $c_u = \gamma c_0$. Получим

$$\Delta t = 2\sqrt{L_0^{\,2} + (0{,}5u\Delta t)^2}\,/(c_0\gamma)\,. \qquad (16)$$

Определяя величину Δt из выражения (16), получим

$$\Delta t = 2L_0/(c_0\sqrt{\gamma^2 - (u/c_0)^2}\,. \qquad (17)$$

С учетом равенства (8) выражение (17) принимает вид

$$\Delta t = 2L_0 / c_0\,. \qquad (18)$$

Формула же (18) означает, что промежуток времени между двумя какими-либо событиями в движущейся ИСО А равен промежутку времени между этими же событиями в покоящейся ИСО В также и для случая, когда световые часы расположены перпендикулярно направлению своего движения. В том числе и для промежутка времени, принятого за единицу измерения времени.

Следовательно, введение понятия "**скорость света в вакууме движущейся ИСО**" исключает из СТО такой эффект как замедление времени в движущейся ИСО и превращает в ненаучную фантастику утверждение о возможности путешествия в будущее Земли за счет длительных перемещений в космосе с большой скоростью (близкой к скорости света).

Список литературы

1. Альберт Эйнштейн, К электродинамике движущегося тела, ПСС, т. 1, М., Наука, 1965, стр. 7.

2. Серавин А. И. Исследование творчества. Возможность определения творчества. http://azps.ru/polpsy/lib/seravintvor/3.html

3. Практическая психология. Учебник. Под ред. проф. М. К. Кукушкиной, Изд-во «Дидактика Плюс», Санкт-Петербург, 2001, с. 114.

4. Г. Минковский, Пространство и время. В кн. «Принцип относительности», М., Атомиздат, 1973, стр. 167.

5. Я. П. Терлецкий, Парадоксы теории относительности, М., Наука, 1966, стр. 53.

6. В. А. Угаров, "Специальная теория относительности", М., Наука, 1977, стр. 128.

7. Ф.И. Федоров, Группа Лоренца, М.: Наука, 1979, стр. 167.