

УДК 530.1

## СКОРОСТЬ СВЕТА В ВАКУУМЕ ДВИЖУЩЕЙСЯ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА

**А.В. Мамаев**, кандидат технических наук, начальник бюро  
НПО «Лянозовский электромеханический завод» (Москва), Россия

**Аннотация.** Вводится новое понятие – «скорость света в вакууме движущейся инерциальной системы отсчета (ИСО)». Она определяется равной четвертой составляющей 4-скорости ИСО, движущейся относительно «покоящейся» ИСО. Применение этого понятия к световым часам приводит к исключению из физики эффекта отставания движущихся часов от покоящихся часов, вследствие точного равенства единицы измерения времени движущимися часами единице измерения времени покоящимися часами.

**Ключевые слова:** специальная теория относительности, скорость света в покоящейся инерциальной системе отсчета, скорость света в движущейся инерциальной системе отсчета, собственное время, эффект замедления времени, галилеевская скорость, лоренцевская скорость.

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 меняются 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 [2], что прежде чем обнаружить что-нибудь новое, не замечаемое другими наблюдателями, чаще всего необходимо сначала сформировать соответствующее *новое понятие* и дать этому новому понятию определение.

Сформируем сначала новое понятие «скорость света в вакууме движущейся инерциальной системы отсчета (ИСО)». Данное понятие вряд ли имело какой-либо смысл 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 (СТО) [1, стр. 10]:

«Каждый луч света движется в «покоящейся» системе координат с определенной скоростью  $V^1$  независимо от того, испускается ли этот луч света покоящимся или движущимся телом».

Содержание СТО как четырехмерной физической теории пространства-времени впервые отчетливо было вскрыто Германом Минковским [3]. 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  $M$  и четырехмерные вектора скорости  $U_k$ , ускорения  $d(U_k)/d(t)$ , импульса  $P_k$ » [4].

Нас, прежде всего, интересует четырехмерный вектор скорости  $U_k$ . Он вводится так [5].

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  $\vec{V} = \frac{d\vec{r}}{dt}$ .

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). Однако, ни само время, ни его дифференциал инвариантом преобразований Лоренца (скаляром) не являются. В качестве инвариантной величины, зависящей от времени, можно взять интервал, или собственное время частицы.

Пусть в ИСО  $K$  координаты  $x, y, z$  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  $K'$  (мгновенно-сопутствующей частице инерциальной системой отсчета называется такая ИСО, постоянная скорость  $V$  которой равна мгновенной скорости частицы). В ИСО  $K'$  за бесконечно малый промежуток времени  $dt'$  координаты частицы не меняются:  $dx' = dy' = dz' = 0$  (поскольку частица покоится в мгновенно сопутствующей ИСО). Имея в виду инвариантность интервала между событиями, запишем

$$ds^2 = C_0^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 = C_0^2 (dt')^2 \quad (1)$$

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  $dt'$  через  $d\tau$ . Тогда из равенства (1) имеем

$$d\tau = \frac{ds}{C_0} = dt \sqrt{1 - \frac{V^2}{C_0^2}} = \frac{dt}{\gamma}, \quad (2)$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C_0^2}}}$$

где  $\gamma$  – релятивистский фактор;  $V$  – скорость движения частицы. Итак, введем 4-вектор скорости частицы

$$\vec{U} = \frac{d\vec{R}}{d\tau}. \quad (3)$$

Поскольку в формуле (3)  $d\tau$  есть инвариант, а  $\vec{R}$  есть 4-вектор, то 4-векторный характер 4-скорости  $\vec{U}$  сомнений не вызывает. В координатном представлении этот 4-вектор скорости  $\vec{U}$  запишется так

$$u_i = \frac{dR_i}{d\tau}, \quad (4)$$

где  $i = 1, 2, 3, 4$ .

Раскроем смысл первых трех компонент 4-вектора скорости из выражения (4)

$$u_\alpha = \frac{dx_\alpha}{d\tau} = \gamma \frac{dx_\alpha}{dt} = \gamma V_\alpha, \quad \text{причем } \alpha = 1, 2, 3, \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C_0^2}}}$$

где  $V_\alpha$  – компоненты обычной 3-скорости, изменяющейся от нуля до  $C_0$ , причем

$$dx_1 = dx, dx_2 = dy, dx_3 = dz, V = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2}.$$

Тогда вследствие того, что, по словам Я. П. Терлецкого «истинный физический смысл могут иметь лишь четырехмерно-ковариантные величины» [4], первые три компоненты четырехмерной скорости, 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 (которую мы будем обозначать здесь буквой  $V$ ), изменяющейся от нуля до скорости света в вакууме  $C_0$ . При этом связь между лоренцевской и галилеевской скоростями определяется равенствами [6]

$$u = \frac{V}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C_0^2}}}, \quad V = \frac{u}{\sqrt{1 + \frac{u^2}{C_0^2}}}. \quad (6)$$

Учитывая, что  $x_4 = C_0 t$ , а также равенство (2), найдем четвертую компоненту 4-скорости:

$$u_4 = \frac{dx_4}{d\tau} = \gamma \frac{d(C_0 t)}{dt} = \gamma C_0. \quad (7)$$

Поскольку из (2) и (6) вытекает, что

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C_0^2}}} = \sqrt{1 + \frac{u^2}{C_0^2}}, \quad (8)$$

то в покоящейся ИСО (при  $V = 0, \gamma = 1$ ) из (7) получим  $u_4 = C_0$ , а в движущейся ИСО (при  $V \neq 0, \gamma \neq 1$ )  $u_4 = \gamma C_0$ .

Следовательно, величину

$$u_4 = \gamma C_0 = C_u = \frac{C_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C_0^2}}} = C_0 \sqrt{1 + \frac{u^2}{C_0^2}}, \quad (9)$$

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

Физически скорость света  $C_u$  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) рассмотрим световые часы – два параллельных зеркала на расстоянии  $L_0$  друг от друга (в той ИСО, где часы покоятся), между которыми, попеременно отражаясь, циркулирует световой импульс, на одном из зеркал расположены импульсный источник света, фотодиод, счетчик импульсов и циферблат.

Единица измерения времени этих световых часов, покоящихся в неподвижной ИСО, будет равна

$$E = \frac{2 \cdot L_0}{C_0}. \quad (10)$$

Рассмотрим сначала случай, когда эти 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 направлении 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 источник света и зеркало покоятся в покоящейся системе отсчета  $B$ ) этот световой сигнал распространяется в покоящейся системе отсчета  $B$  со скоростью  $C_0$  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 б).

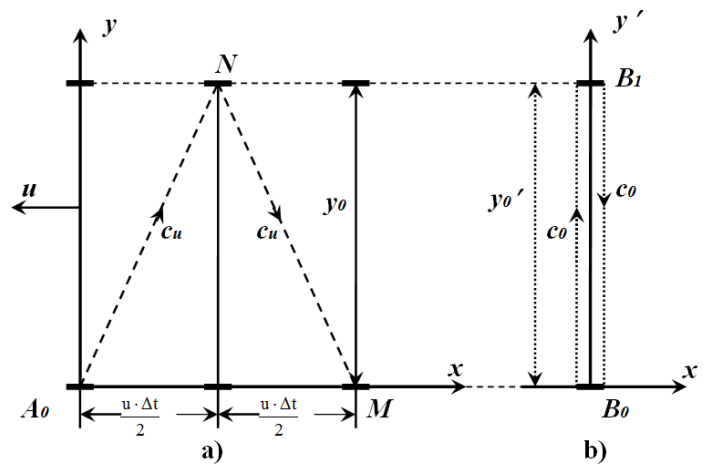


Рис. 1. Распространение света в движущейся и покоящейся ИСО

*a* – распространение света в движущейся ИСО  $A$  с точки зрения наблюдателя, находящегося в покоящейся ИСО  $B$ ,  
*b* – распространение света в покоящейся ИСО  $B$  с точки зрения наблюдателя, находящегося в ней (в покоящейся ИСО  $B$ )

Вследствие этого световой сигнал после его излучения из точки  $B_0$  вернется в точку  $B_0$  через промежуток времени, равный величине

$$\Delta t' = \frac{2 \cdot L_0}{C_0}. \quad (11)$$

Рассмотрим теперь распространение этого же светового сигнала в движущейся инерциальной системе отсчета  $A$  с точки зрения наблюдателя, покоящегося в неподвижной ИСО  $B$ . При этом ИСО  $A$  движется относительно ИСО  $B$  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  $A$  излучение этого светового сигнала происходит из точки  $A_0$ . За то время, пока световой сигнал движется в системе отсчета  $B$  из точки  $B_0$  к зеркалу  $B_1$ , сама система отсчета  $A$ , двигаясь с галилеевской скоростью  $u$  относительно системы отсчета  $B$ , переместится на определенное расстояние. Поэтому отражение света от зеркала  $B_1$  в инерциальной системе отсчета  $A$  произойдет в точке  $N$  на рис. 1 а). За то время, пока световой сигнал движется в покоящейся системе отсчета  $B$  от зеркала  $B_1$  в точку  $B_0$ , система отсчета  $A$  тоже переместится на определенное расстояние и в тот момент времени, когда световой сигнал придет в системе отсчета  $B$  в точку  $B_0$ , точка  $B_0$  покоящейся системы отсчета  $B$  будет совпадать с точкой  $M$  движущейся системы отсчета  $A$ .

Очевидно, что  $A_0N = NM$ . Очевидно также и то, что путь светового сигнала в движущейся системе отсчета  $A$  (равный сумме длин прямых линий  $A_0N$  и  $NM$ ) будет больше, чем путь этого же светового сигнала в покоящейся системе отсчета  $B$  (равный удвоенной длине линии  $B_0B_1 = L_0$ ).

Если обозначить через  $\Delta t$  промежуток времени между моментом излучения светового сигнала из точки  $A_0$  и моментом приема этого светового сигнала в точке  $M$  движущейся системы отсчета  $A$ , то путь, проходимый световым сигналом в системе отсчета  $A$  от точки  $A_0$  до точки  $M$ , можно определить по теореме Пифагора

$$S = 2\sqrt{L_0^2 + \left(\frac{u\Delta t}{2}\right)^2}. \quad (12)$$

Но система отсчета  $A$  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  $A$  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  $\Delta t$  между моментом излучения светового сигнала в точке  $A_0$  и моментом приема сигнала в точке  $M$  в движущейся инерциальной системе отсчета  $A$  можно вычислить, разделив световой путь  $S$ , определяемый уравнением (12), на скорость распространения света в движущейся ИСО  $A$ , определяемую выражением  $C_u = \gamma C_0$ . Получим

$$\Delta t = \frac{2 \cdot \sqrt{L_0^2 + \left(\frac{u\Delta t}{2}\right)^2}}{\gamma C_0}. \quad (13)$$

Определяя величину  $\Delta t$  из уравнения (13), получим

$$\Delta t = \frac{2 \cdot L_0}{C_0 \sqrt{\gamma^2 - \frac{u^2}{C_0^2}}}. \quad (14)$$

С учетом равенства (8) выражение (14) принимает вид

$$\Delta t = \frac{2 \cdot L_0}{C_0}. \quad (15)$$

Формула (15) означает, что промежуток времени между двумя какими-либо событиями в движущейся ИСО  $A$  равен промежутку времени между этими же событиями в покоящейся ИСО  $B$  для случая, когда световые часы расположены перпендикулярно направлению своего движения (поскольку правая часть формулы (15) совпадает с правой частью формулы (11)). В том числе и для промежутка времени, принятого за единицу измерения времени.

Пусть теперь 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

$$C_u = \gamma C_0, \quad (16)$$

где  $C_0$  есть скорость света в вакууме покоящейся ИСО;  $\gamma$  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 будет равна  $(C_u - u)$ . Скорость сближения света с задним зеркалом световых часов, после отражения света от переднего зеркала, будет равна  $(C_u + u)$ , где  $C_u$  есть скорость света в вакууме движущейся ИСО,  $u$  – галилеевская скорость движения световых часов. Вследствие этого единица измерения времени движущихся часов определяется по формуле:

$$E = \frac{L}{C_u - u} + \frac{L}{C_u + u}, \quad (17)$$

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

Подставив в формулу (17) значения  $L = \frac{L_0}{\gamma}$ ,  $C_u = \gamma C_0$  и  $\gamma = \sqrt{1 + \frac{u^2}{C_0^2}}$ , получим, что

$$E = \frac{2 \cdot L_0}{C_0}. \quad (18)$$

То есть единица измерения времени движущихся часов равна единице измерения времени покоящихся часов (формула (18) совпадает с формулой (10)).

Следовательно, введение понятия «**скорость света в вакууме движущейся ИСО**» исключает из СТО такой эффект как отставание движущихся часов от покоящихся часов (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).

Однако же это будет не СТО, а уже другая – альтернативная теория пространства-времени – новая релятивистская теория (пока еще гипотеза) пространства-времени [7].

#### Примечание

<sup>1</sup> Эту константу мы в дальнейшем будем обозначать буквой  $C$  с нижним индексом ноль:  $C_0$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эйнштейн, А.К. электродинамике движущегося тела, ПСС. – М. : Наука, 1965. – т. 1. – с. 7 - 85.
2. Серавин, А.И. Исследование творчества. Возможность определения творчества. <http://azps.ru/polpsy/lib/seravin/tvor/3.html>
3. Минковский, Г. Пространство и время. В сб. «Принцип относительности», составитель А. А. Тяпкин. – М. : Атомиздат. – 1973. – С. 167-182.
4. Терлецкий, Я.П. Парадоксы теории относительности. – М. : Наука, 1966. – с. 53.
5. Угаров, В.А. Специальная теория относительности, М. : Наука, 1977. – с. 128.
6. Федоров, Ф.И. Группа Лоренца, М. : Наука, 1979. – с. 167.
7. Мамаев, А.В. “Сущность новой теории пространства-времени, уточняющей специальную теорию относительности”, Россия, Тула: ТВАИУ. – 1990. – 76 с. // Деп. В ВИНТИ 03.09.1990, № 4861-В90.

Материал поступил в редакцию 02.12.13.

## SPEED OF LIGHT IN VACUUM OF MOVING INERTIAL REFERENCE FRAME

A.V. Mamaev, Candidate of Technical Sciences, Bureau Chief  
Research and Production Corporation Lianozovo Electromechanical Plant (Moscow), Russia

**Abstract.** “Speed of light in vacuum of a moving inertial reference frame (IRF)” is introduced as a new concept. It is defined as a value equal to the fourth component of the four-dimensional speed of IRF, moving relatively to a resting IRF. Application of this concept to light propagation in moving and resting light clocks leads to elimination from physics of time dilation effect for moving IRF owing to exact equality of a moving light clock time unit to a resting light clock time unit.

**Keywords:** special relativity theory, speed of light in a resting inertial reference frame, speed of light in a moving inertial reference frame, proper time, time dilation effect, Galilean speed, Lorentz speed.