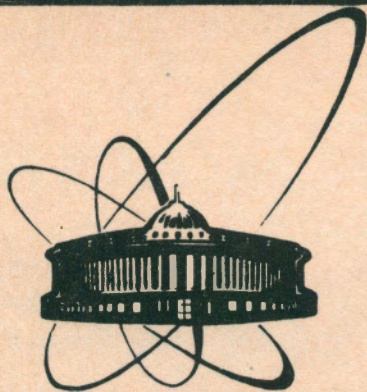


92-114



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

Д2-92-114

В. Н. Стрельцов

КАЖУЩАЯСЯ ОДНОЗНАЧНОСТЬ РЕЛЯТИВИСТСКОГО
ЗАМЕДЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ.

1992

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время рассматриваются две формулы преобразования продольных размеров релятивистских объектов, соответствующие двум формам теории относительности (см., например, ^{1/}). Общеизвестная формула Лоренца сокращения соответствует 'мгновенной' форме, которая опирается на понятие мгновенного расстояния (и эйнштейновское определение длины движущегося стержня). Другая, 'нормальная' форма теории относительности оперирует со световыми или запаздывающими расстояниями (и базируется на локационном методе измерения расстояний). Введенная на основе этого метода релятивистская или локационная длина ^{2/} растет с увеличением скорости согласно "формуле удлинения".

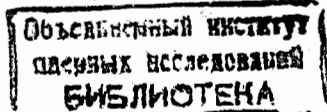
Казалось бы, вопрос, подобный следующему: сокращаются или удлиняются на самом деле продольные размеры материальных объектов в результате движения, для времени не возникает. Тем более что опыты по измерению времени (периода) жизни элементарных частиц однозначно свидетельствуют в пользу формулы замедления времени. Однако, как было замечено в свое время ^{3/}, при выводе последней формулы фактически полагается, что объект, представляющий собой часы или элементарную частицу, имеет исчезающе малые размеры, т.е. является точечным. В случае же учета конечности пространственных размеров возможно отклонение от привычной формулы.

Однако наиболее ярким примером здесь, безусловно, является эффект Доплера. При этом элемент световой волны (ее длина) может рассматриваться в качестве простейшего протяженного объекта. Поведение же соответствующего временного интервала — периода волны — представляет различные формы релятивистского преобразования времени, зависящие от условия наблюдения.

Таким образом, вопреки широко распространенному мнению, мы имеем здесь определенную аналогию с поведением видимых размеров релятивистских объектов (см., например, ^{4/}). Обычное же релятивистское замедление времени может трактоваться как среднее двух наблюдаемых величин.

НАБЛЮДАЕМЫЙ ПЕРИОД ВОЛНЫ ОТ ДВИЖУЩЕГОСЯ ИСТОЧНИКА

Используя закон преобразования волнового 4-вектора k^i , легко рассмотреть эффект Доплера, который здесь мы будем представлять как изменение периода T волны, испускаемой источником, движущимся по отношению к наблюдателю (в S -системе), по сравнению с собственным периодом T^* того же источника в системе отсчета (S^*), где он покоится.



Пусть \vec{v} — скорость источника, т.е. скорость S^* -системы относительно S . Согласно общим формулам преобразований 4-векторов имеем

$$k_*^0 = (k^0 - \vec{\beta} \vec{k}) \gamma = k^0 (1 - \vec{\beta} \vec{n}_3) \gamma, \quad (1)$$

где $\beta = v/c$, $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$. Подставляя сюда $k^0 = 2\pi/cT$, $k^1 = k \cos \Theta = 2\pi \cos \Theta / cT$, где Θ — угол между направлением испускания и направлением движения источника, и выражая T через T^* , получим

$$T = T^* (1 - \beta \cos \Theta) \gamma. \quad (2)$$

Очевидно, что при различных углах наблюдения* мы будем получать различные значения для периода волны**. При этом, очевидно, известная формула релятивистского замедления времени будет иметь место только при $\Theta = \pi/2$, т.е. в случае поперечного или релятивистского эффекта Доплера. Вместе с тем, например, при

$$\cos \Theta_1 = (1 - \gamma^{-1}) \beta^{-1} \quad T = T^*, \quad (3)$$

т.е. имеем "классический" результат, а при

$$\cos \Theta_2 = \beta \quad T = T^* \gamma^{-1}, \quad (4)$$

т.е. имеем релятивистское сокращение времени! С другой стороны, для двух предельных значений $\Theta = 0$ и $\Theta = \pi$ будем иметь соответственно

$$T_B = (1 - \beta) T^* \gamma \quad \text{и} \quad T_R = (1 + \beta) T^* \gamma. \quad (5)$$

Отсюда следует, что искомая величина релятивистского замедления времени T_T может быть представлена также как среднее значение величин T_B и T_R :

$$T_T = \frac{1}{2} (T_B + T_R). \quad (6)$$

Здесь T_B соответствует случаю, когда свет испускается в направлении движения источника, а T_R — в противоположном направлении.

С другой стороны, введенная формула (6) может рассматриваться как модификация (обобщение) определения понятия времени для движущихся протяженных объектов. Как видно, она удивительным образом напоминает нам

* Или в зависимости от "фактора запаздывания" $(1 - \vec{\beta} \vec{n}_3)$, где $\vec{n}_3 = \vec{R}_3 / R_3$, а R_3 — запаздывающее расстояние.

** В этой связи см. также¹⁵.

формулу, фигурирующую в определении понятия релятивистской длины¹², особенно если перейти к длинам волн, домножив обе части (6) на скорость света c .

РЕЛЯТИВИСТСКИЙ ЭФФЕКТ ДОПЛера

В результате указанного перехода будем иметь

$$\lambda_T = \frac{1}{2} (\lambda_B + \lambda_R). \quad (7)$$

Привлекая (5), легко получить формулу преобразования для λ_T . Она представляет собой "формулу удлинения" для длины волны

$$\lambda_T = \lambda^* \gamma, \quad (8)$$

т.е. предсказывает красное смещение спектральных линий. Но самое существенное здесь то, что именно λ_T измеряется в опытах по изучению поперечного или релятивистского эффекта Доплера⁶⁻⁸. Первый из таких опытов¹⁶, подтвердивших формулу (8), т.е. сдвиг спектральных линий на величину

$$\delta \lambda_T = \lambda_T - \lambda^* \cong \frac{1}{2} \beta^2 \lambda^*, \quad (9)$$

был выполнен Айвсом и Стиллуэллом в 1983 г. Следует заметить, что большое значение опытам этого типа придавал Эйнштейн¹⁹. По словам Зоммерфельда¹⁰, "Эйнштейн видел в ожидавшемся красном смещении *experimentum crucis* для теории относительности".

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Теория относительности установила равноправие пространственных и временных координат, объединив их в единый пространственно-временной континуум (пространство Минковского).

Проведенное рассмотрение позволило устранить своего рода "асимметрию" между понятиями длины и времени для движущихся объектов. С одной стороны, было показано, что "неоднозначность", подобная существованию двух формул преобразований для продольных размеров, имеет место и в случае времени. С другой стороны, мы пришли, фактически, к обобщению понятия времени на релятивистские протяженные объекты.

Поскольку природа имеет дело со световыми или запаздывающими, т.е. "неодновременными", расстояниями, то с ними связан конечный временной интервал. Точно так же в общем случае с временной длительностью связан не-

который пространственный размер (например, размер объекта). Таким образом, здесь вскрывается глубокая аналогия между определением релятивистской длины и рассмотренным обобщением релятивистского времени. В результате математическая эквивалентность пространственных и временных координат распространяется на соответствующие физические понятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стрельцов В.Н. - Сообщение ОИЯИ Д2-92-63, Дубна, 1992.
2. Idem - Found. Phys., 1976, 6, p.293.
3. Idem - Сообщение ОИЯИ P2-83-586, Дубна, 1983.
4. Idem - Hadronic J., 1990, 13, p.345.
5. Hslung P.-K., Tribadeau R.H., Cox C.B., Dunn R. H.P. - CMU Report, Pittsburg, 1990.
6. Ives H.E., Stilwell G.R. - J. Opt. Soc. Am., 1938, 28, p.215; 1941, 31, p.369
7. Otting G. - Z. Phys., 1939, 40, p.681.
8. Mandelberg H.I., Witten L. - J. Opt. Soc. Am., 1962, 52, p.529.
9. Einstein A. - Ann.Phys., 1907, 23, p.197.
10. Зоммерфельд А. - Электродинамика. М.: ИЛЛ, 1958, с.316.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 марта 1992 года.

Стрельцов В.Н. D2-92-114
Кажущаяся однозначность
релятивистского замедления времени

Указывается на аналогию между поведением запаздывающего расстояния и периода волны, испускаемой движущимся источником, в зависимости от условий наблюдения ("фактора запаздывания"). Отмечается, что определение времени для движущихся протяженных объектов, приводящее к релятивистскому замедлению, соответствует определению релятивистской (локационной) длины, приводящему к "формуле удлинения".

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1992

Перевод автора

Streltsov V.N. D2-92-114
Apparent Simplicity of Relativistic Time Dilation

It is indicated on the definite analogy between the dependence of visible sizes of relativistic objects and period of the wave, emitted by the moving source from the observation conditions ("retardation factor"). It is noted that the definition of time for moving extended objects, led to relativistic dilation, corresponds to the definition of the relativistic (radar) length led to the "elongation formula".

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1992