

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

98-13

P2-98-13

В.С.Барашенков<sup>1</sup>, Э.Капусцик<sup>2</sup>, М.В.Ляблин

ПРИРОДА РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭФФЕКТОВ  
И ЗАПАЗДЫВАЮЩАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ ЧАСОВ

---

<sup>1</sup>E-mail: barashenkov@lcta30.jinr.dubna.su

<sup>2</sup>Институт физики и информатики Педагогического университета  
и Институт ядерной физики, Краков, Польша  
E-mail: kapuscik@wsp.krakow.pl

## 1. Введение

Как известно, в настоящее время существуют два принципиально различных взгляда на природу релятивистских эффектов. Часть физиков, следуя Пуанкаре и Лоренцу, рассматривают их как следствие деформаций, испытываемых телами, движущимися относительно привилегированной системы координат, связанной с вакуумом. Другие физики, подобно Эйнштейну, рассматривают эти эффекты как чисто кинематическое следствие определения одновременности в движущейся и покоящейся системах отсчета.

Наша цель — найти отличия между этими двумя точками зрения путем наблюдения возможного изменения интерференции падающего и отраженного лазерных лучей в зависимости от скорости инерциальной системы отсчета. Эйнштейновская теория говорит, что такой зависимости не должно быть, так как иначе можно было бы установить факт инерциального движения, находясь внутри изолированной физической системы. Однако с точки зрения исследователей, разделяющих лоренцевскую идею о существовании привилегированной системы отсчета, в эксперименте можно заметить сдвиг интерференционных полос, поскольку процесс отражения, связанный с поглощением и испусканием световых квантов атомами зеркала, занимает определенное время, и поэтому отраженный луч несколько запаздывает по отношению к распространяющемуся без отражения.

Кроме того, остается неясным еще один вопрос. Специальная теория относительности базируется на чисто классическом принципе синхронизации времени, который предполагает мгновенное, без всякого запаздывания, отражение посылаемого сигнала. На первый взгляд это противоречит конечной длительности такого процесса. Мы покажем, что известные преобразования Лоренца тем не менее сохраняют свою форму и в случае учета такого запаздывания.

В следующем разделе кратко описывается эксперимент и приводятся его результаты. Раздел 3 посвящен теоретическому рассмотрению преобразований Лоренца с учетом эффекта запаздывания. В разделе 4 обсуждаются результаты.

## 2. Эксперимент с учетом запаздывания в процессе отражения

Наша задача — проверить, зависит ли интерференция лазерных лучей от скорости платформы, на которой укреплены источник света и интерферометр. Идею такой проверки можно пояснить следующим мысленным экспериментом. Представим себе (рис. 1), что в системе координат, движущейся со скоростью  $v$ , мы имеем два параллельных когерентных луча света. Один из них попадает непосредственно в интерферометр, в то время как другой, встретив на своем пути зеркало, поглощается его веществом, то есть исчезает на некоторое время  $t_0$ , после чего испускается и тоже попадает в интерферометр. Повернем теперь платформу, на которой установлены источник света и интерферометр, перпендикулярно к вектору  $v$ . Если верна лоренцевская идея о существовании в природе привилегированной системы отсчета и зависимости от нее скорости света, то между световыми лучами должен возникнуть сдвиг фаз и интерференционные полосы сместятся.

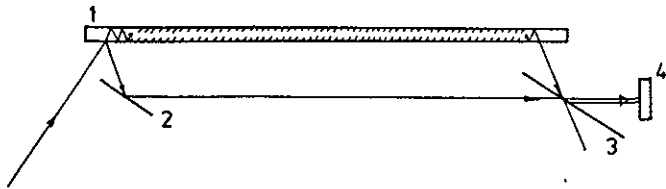


Рис. 1. Схема интерференционного эксперимента. 1 — плоско-параллельная пластина, 2 и 3 — зеркала, 4 — фотодетектор

В соответствии с лоренцевской идеей, скорость света в движущейся системе отсчета есть  $c + v$ , так что время, требуемое двум указанным

выше когерентным лучам для прохождения расстояния от их общего источника до интерферометра

$$t_1 = x/(c + v), \quad t_2 = t_0 + (x - vt)/(c + v), \quad (1)$$

а соответствующее время запаздывания  $\tau = t_2 - t_1$ . В случае перпендикулярного расположения прибора

$$t_1' = x/c, \quad t_2' = t_0 + x/c \quad ; \quad (2)$$

и время запаздывания  $\tau' = t_2' - t_1'$ .

(С точностью до квадратичных членов  $\sim \beta^2 = (v/c)^2$ , обязанных своим происхождением лоренцевскому сокращению длин, разность времен, определяющая сдвиг интерференционной картины при переходе от начального расположения прибора к перпендикулярному

$$\Delta\tau = \tau' - \tau = vt_0/(v + c) \simeq t_0\beta. \quad (3)$$

В отличие от известного эксперимента Майкельсона и Морли и других измерений, где все линейные члены взаимно компенсируются благодаря распространению света в двух противоположных направлениях, в рассматриваемом эксперименте с однонаправленным распространением световых лучей эти члены сохраняются и могут быть измерены.

Соответствующий сдвиг фаз синусоидальных световых волн

$$\varphi = 2\pi c\Delta\tau/\lambda \quad (4)$$

порождает в фотодетекторе сдвиг полос

$$\Delta\ell = \varphi\lambda/2\pi. \quad (5)$$

Измерив его, мы получим

$$\Delta\tau = \Delta\ell/c \quad (6)$$

и величину запаздывания

$$t_0 \simeq \Delta\tau/\beta = \Delta\ell/v. \quad (7)$$

Реальный эксперимент отличается от рассматриваемой схемы заменой зеркала в интерферометре Маха - Цандера на плоско-параллельную пластинку со 125 - кратным отражением светового луча между двумя его посеребренными поверхностями (см. рис. 1), что позволяет существенно увеличить запаздывание луча. Сдвиг интерференционных полос регистрируется фотодетектором, и результаты обрабатываются компьютером. Для того, чтобы снизить уровень помех, все установленные на платформе оптические элементы после процесса их юстировки были приклеены к ней, а она с помощью практически точечного контакта соединялась с массивным вращающимся основанием. В качестве переносной скорости  $v$  использовалась скорость Земли ( $\approx 380\text{ км/с}$ ).

Прибор калибровался с помощью установленной в свободном плече интерферометра (нижнее плечо на рис.1) плоско-параллельной пластины, толщина и, следовательно, порождаемое запаздывание, точно известны. На рис. 2, где представлены результаты наших измерений, калибровочный пик соответствует смещению интерференционных полос  $\Delta\ell/\lambda = 0,02$  (для  $\lambda = 0,63\text{ мкм}$ ).

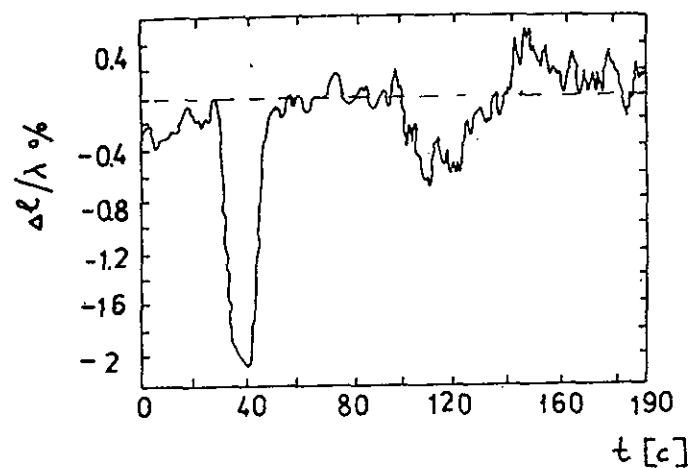


Рис. 2. Смещение интерференционных полос  $\Delta\ell/\lambda$  как функция времени

На рис. 2 поворот прибора на  $360^\circ$  соответствует временному интервалу  $\Delta t = [90\text{ с}, 190\text{ с}]$ , внутри которого  $\delta\ell/\lambda = 0 \pm 0,006$ . т. е.  $t_0 = 0 \pm 8 \cdot 10^{-17}\text{ с}$ <sup>1</sup>. Наблюдаемые осцилляции  $\Delta\ell/\lambda$  являются погрешностями, обусловленными небольшими деформациями платформы при поворотах. Соответствующая ошибка  $\Delta t_0$  намного меньше продолжительности акта отражения света от металлического зеркала  $t_0 \sim 10^{-14}\text{ с}$ , измеренной непосредственно в экспериментах [1], и это позволяет утверждать, что гипотеза Лоренца о существовании привилегированной системы отсчета и зависимости скорости света от движения относительно этой системы не верна.

### 3. Запаздывающая синхронизация часов

Предложенный Эйнштейном метод синхронизации времени предполагает, что в некоторый момент времени  $t_1$  наблюдатель посылает световой сигнал в точку X, и этот сигнал, отразившись в точке X, возвращается к наблюдателю в момент времени  $t_2$ . Тогда часы в точке X в момент отражения светового сигнала должны показывать время  $t$ , определяемое условием синхронизации

$$c(t - t_1) = c(t_2 - t), \quad (8)$$

где  $c$  - вакуумная скорость света. Такое предположение, вполне естественное в рамках макроскопической физики, нуждается, однако, в дополнительном обсуждении на уровне микроскопических явлений.

Для того, чтобы учесть задержку, связанную с поглощением и испусканием света в атомных процессах на поверхности зеркала, запишем условие синхронизации в виде

$$c(t - t_1) = ct(t_2 - t - \tau), \quad (9)$$

<sup>1</sup>Мы учли, что  $t_0$  в (7) должно быть поделено на число отражений внутри интерферометра  $n=125$ .

где  $\tau$  — время запаздывания, являющееся макроскопическим параметром, который определяется квантовыми процессами внутри зеркала. Отсюда следует, что синхронизованное время

$$t = (t_2 + t_1 - \tau)/2. \quad (10)$$

и расстояние до точки X

$$x = c(t_2 - t_1 - \tau)/2. \quad (11)$$

Другой наблюдатель запишет эти соотношения в виде

$$t' = (t'_2 + t'_1 - \tau')/2 \quad (12)$$

и

$$x' = c(t'_2 - t'_1 - \tau')/2, \quad (13)$$

где  $t'_1$ ,  $t'_2$  и  $\tau'$  — соответствующие времена и интервал запаздывания, отсчитываемые наблюдателем по его собственным часам.

Используемые различными наблюдателями времена связаны преобразованиями Лоренца :

$$t'_1 = \lambda t_1, \quad t'_2 = \lambda^{-1} t_2, \quad (14)$$

где  $\lambda$  — безразмерный параметр, зависящий от относительной скорости наблюдателей.

Правила преобразований (14) такие же, как и при обычной эйнштейновской синхронизации, с помощью пространственно-временных координат их можно записать в виде

$$x' = [(\lambda^2 + 1)x - c(\lambda^2 - 1)t + \lambda\tau' - \tau] / 2\lambda, \quad (15)$$

$$t' = [(\lambda^2 + 1)t - (\lambda^2 - 1)(x/c) + \lambda\tau' - \tau] / 2\lambda. \quad (16)$$

Эти соотношения совпадают со стандартными преобразованиями Лоренца, если времена запаздывания преобразуются в соответствии с теми же лоренцевскими правилами, как и моменты времени  $t_i$ :

$$\tau' = \lambda^{-1} \tau = [(1 - \beta)/(1 + \beta)]^{-1/2} \tau = \gamma(1 - v/c)\tau = \gamma(\tau - \chi/c), \quad (17)$$

где  $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$ ,  $\chi = vt$  и  $v$  — скорость движущегося наблюдателя.

Как видим, запаздывающая синхронизация часов не изменяет лоренцевских преобразований.

#### 4. Заключительное замечание

Экспериментальные данные однозначно говорят в пользу эйнштейновского понимания природы релятивистских эффектов. Приведенные выше результаты служат доказательством невозможности связать какую-либо выделенную систему отсчета с вакуумом. В его полной однородности нет никаких: ни кинематических, ни каких-либо динамических особенностей, которые можно было бы использовать в качестве "якоря" такой системы отсчета. Тем не менее концепция вакуума не может быть полностью отброшена, как это предлагал Эйнштейн. И эксперимент и квантовая теория доказывают, что вакуум является специфической материальной средой, хотя все попытки описать ее в терминах привычных понятий наталкиваются на противоречия.

Вместе с тем мы хотели подчеркнуть, что хотя эйнштейновский метод синхронизации времени не противоречит экспериментальным данным, он, по существу, является макроскопической процедурой. В области малых интервалов  $\Delta t$  и  $\Delta x$ , где пространственно-временная интерпретация формфакторов, описывающих структуру пробных частиц, наталкивается на трудности, становится неясным, в каком смысле можно говорить там о длинах и интервалах времени [2].

#### Литература

1. А. В. Соколов. *Оптические свойства металлов*. Физматлит, М., 1961, с. 240.
2. В. С. Барашенков. *Проблемы субатомного пространства и времени*. Атомиздат, М., 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел  
29 января 1998 года.