

С322

13/9-71

С-844

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

3138/2-71

P2 - 5946



В.Н. Стрельцов

К ВОПРОСУ
ОБ ОПЫТЕ МАЙКЕЛЬСОНА-МОРЛИ

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1971

P2 - 5946

В.Н. Стрельцов

К ВОПРОСУ
ОБ ОПЫТЕ МАЙКЕЛЬСОНА-МОРЛИ*

* В порядке обсуждения.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

1. Как известно^{*}), опыт Майкельсона-Морли был предпринят, в частности, для того, чтобы обнаружить влияние движения Земли (эфира) на скорость распространения света.

С этой целью интерферометр Майкельсона, использованный в опыте, был установлен так, чтобы одно его плечо, скажем, PS_2 (см. рисунок), совпадало с направлением движения Земли, а другое было бы ему перпендикулярно.

Луч света от источника Q полупрозрачной пластинкой P расщеплялся на два луча, $PS_2 PF$ и $PS_1 PF$. В F оба указанных луча интерферировали.

Было рассчитано, с одной стороны, время распространения луча $PS_1 P$, идущего поперек движения Земли. Оно составило

$$t_L = \frac{2l}{c\sqrt{1-\beta^2}}, \quad (1)$$

где $\beta = v/c$, а v — скорость движения Земли.

С другой стороны, на основании того, что скорость распространения света по направлению движения Земли и против него равна $c-v$ и $c+v$, для времен прохождения света от P к S_2 (t_1) и обратно (t_2) получили соответственно

$$t_1 = \frac{l}{c-v}, \quad (2)$$

^{*}) Изложение данного вопроса см., например, в книге М. Борна "Эйнштейновская теория относительности" /1/.

$$t_2 = \frac{\ell}{c + v}. \quad (3)$$

Откуда для суммарного времени прохождения света в этом направлении нашли

$$t_{||} = t_1 + t_2 = \frac{2\ell}{c(1 - \beta^2)}.$$

Таким образом, одна световая волна по сравнению с другой должна была приходить в P с запаздыванием на величину

$$\Delta t = t_{||} - t_{\perp} \approx \frac{\ell}{c} \beta^2.$$

Ожидалось, что наличие отмеченной разности времен распространения света в двух направлениях вызовет смещение интерференционных полос, например, при поворотах интерферометра. В действительности, однако, никакого смещения полос обнаружено не было.

Этот результат привел Фитцджеральда и Лоренца к так называемой контракционной гипотезе, согласно которой плечо интерферометра в направлении движения Земли должно сжиматься до величины

$$\ell'_L = \ell \sqrt{1 - \beta^2}. \quad (4)$$

Впоследствии, как известно, указанная гипотеза была включена в общую схему специальной теории относительности.

2. Учитывая предыдущие результаты и особенно учитывая то, что приведенное выше объяснение опыта Майкельсона–Морли относится в общем-то к дорелятивистскому этапу развития физики, не совсем бессмысленно задать следующий вопрос:

Не изменятся ли какие-либо черты объяснения данного опыта, если мы будем опираться при этом только на специальную теорию относительности?

С целью ответа на поставленный вопрос вычислим, например, время распространения светового сигнала вдоль плеча PS_2 и обратно.

Возьмем для этого формулу преобразования Лоренца для времени

$$t' = \frac{t + (\beta/c)x}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (5)$$

и учтем, что в системе отсчета, связанной с Землей, где плечо покоится, его длина равна l . Подставив затем в (5) значения $t = l/c$ и $x = \pm l$, найдем, что в системе отсчета, связанной с Солнцем, где Земля движется со скоростью v , время распространения луча света от P до S_2 и обратно составит соответственно

$$t'_{PS_2} = \frac{l}{c} \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}}, \quad (6)$$

$$t'_{S_2P} = \frac{l}{c} \sqrt{\frac{1 - \beta}{1 + \beta}}. \quad (7)$$

В результате для суммарного времени $t_{||}$ будем иметь

$$t_{||} = t'_{PS_2} + t'_{S_2P} = \frac{2l}{c\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

Откуда мы сможем заключить, что в рамках специальной теории относительности время $t_{||}$ распространения светового луча вдоль направления движения Земли действительно не отличается от времени t_{\perp} распространения света в поперечном направлении (1), что как раз соответствует отрицательному результату опыта Майкельсона-Морли.

Привлекая далее формулу преобразования Лоренца для координаты

$$x' = \frac{x + \beta ct}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

найдем при этом, что свет от P до S_2 проходит расстояние

$$l'_{PS_2} = l \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}},$$

а обратно -

$$l'_{S_2P} = l \sqrt{\frac{1 - \beta}{1 + \beta}}.$$

Откуда для суммарного расстояния, пройденного светом, получим

$$2l' = l'_{PS_2} + l'_{S_2P} = \frac{2l}{\sqrt{1 - \beta^2}}. \quad (8)$$

Таким образом, оказывается, что в системе отсчёта, где плечо интерферометра движется со скоростью v , свет проходит большее расстояние от его левого конца и обратно, чем в системе покоя стержня. Иными словами, этот факт может быть выражен так: в результате движения произошло удлинение (а не сокращение) плеча интерферометра PS_2 в $(1-\beta^2)^{-1/2}$ раз.

3. В связи с тем, что в рассмотренном выше объяснении результатов опыта Майкельсона-Морли с точки зрения теории относительности мы не прибегали к помощи контракционной гипотезы, возникает следующий вопрос:

Остается ли в рамках данного объяснения вообще место для такой гипотезы?

Чтобы ответить на поставленный вопрос, перепишем (6) и (7) на основании "формулы сокращения" (4) в виде

$$t'_{PS_2} = \frac{\ell'_L}{c - v},$$

$$t'_{S_2P} = \frac{\ell'_L}{c + v}.$$

Откуда следует, что теперь, чтобы объяснить разницу времен t'_{PS_2} и t'_{S_2P} , мы должны допустить, что свет от P к S_2 движется со скоростью $c - v$, а обратно со скоростью $c + v$.

Но последнее утверждение, очевидно, противоречит постулату постоянства скорости света и, в частности, эйнштейновскому правилу сложения скоростей.

Иначе говоря, контракционная гипотеза может рассматриваться только в качестве альтернативы принципа постоянства скорости света.

Если далее мы обратимся к выражению (8), переписав его на основании (4) в виде

$$2\ell' = \frac{2\ell'_L}{1 - \beta^2},$$

то сможем сказать, что величина $2\ell'_L$ в данной формуле, а следовательно и вообще в рамках рассматриваемого объяснения, является фиктивной величиной. В самом деле, знание ее еще не означает знания истинного

пути $2l'$, пройденного световым сигналом. Чтобы определить этот путь, мы должны дополнительно привлечь другую фиктивную для данной системы отсчёта величину v — относительную скорость движения двух систем отсчёта.

Последний результат, очевидно, только подтверждает наши предыдущие выводы.

Дополнение

В подтверждение результатов п.3 можно привести следующие простые рассуждения, опирающиеся на специальную теорию относительности и касающиеся определения величины $t_{||}$.

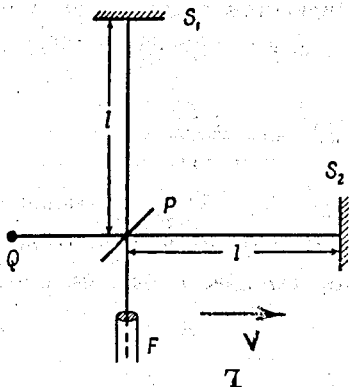
Коль скоро на основании эйнштейновского правила сложения скоростей после сложения скорости света со скоростью движения Земли мы снова получим c , то для времен распространения света от P к S_2 и обратно будем иметь

$$t'_{PS_2} = \frac{l'_{PS_2}}{c}, \quad t'_{S_2P} = \frac{l'_{S_2P}}{c},$$

складывая их, найдем

$$t_{||} = t'_{PS_2} + t'_{S_2P} = \frac{l'_{PS_2} + l'_{S_2P}}{c} = 2 \frac{l'}{c}.$$

Откуда следует, что для того, чтобы объяснить равенство времен t_{\perp} и $t_{||}$, мы должны допустить, что $l' = l/\sqrt{1-\beta^2}$, т.е. что плечо интерферометра PS_2 , направленное параллельно движению Земли, удлинено в $(1-\beta^2)^{-1/2}$ раз.



Л и т е р а т у р а

1. М. Борн. Эйнштейновская теория относительности. Изд. "Мир", М, 1964, §§ 4,9,14,15.

Рукопись поступила в издательский отдел

21 июля 1971 года.