

Министерство образования и науки Российской Федерации
Научно-технический совет по физике
Российская академия наук
Комитет по образованию Администрации Волгоградской области
Волгоградский государственный педагогический университет
Волгоградский государственный технический университет
Волгоградский государственный университет
Российское научно-производственное объединение «Росучприбор»
Ассоциация кафедр физики технических вузов России
Объединённое физическое общество Российской Федерации
Московское физическое общество
Научно-технический центр «Владис»
Журнал «Физическое образование в вузах»

С О В Р Е М Е Н Н Ы Й Ф И З И Ч Е С К И Й П Р А К Т И К У М

Сборник трудов IX Международной учебно-методической конференции
Под Редакцией Н. В. Калачёва и М. Б. Шапочкина

Г. Волгоград, 19-21 сентября 2006 г.

Издательский дом Московского физического общества
Москва
МФО – 2006

**ФИЗИЧЕСКИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОШИБКИ
ОПТИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА МАЙКЕЛЬСОНА-МОРЛИ
И ИХ ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ, [1].**

А Ф. Потехин

Одесский Национальный морской университет

65029 Одесса, ул. Мечникова, 34. Украина

a_potjehin@osmu.odessa.ua

Выявлено, что в оптическом эксперименте Майкельсона-Морли: а) допущена ошибка в общепринятом расчёте времени хода поперечного луча; б) поперечный луч не попадает в окуляр, куда поступает продольный луч. Сформулированы основные следствия, вытекающие из этих ошибок опыта Майкельсона-Морли:

1. Целью оптического эксперимента Майкельсона-Морли являлось измерение смещения интерференционных полос, величина которого имеет второй порядок малости по абберации, в то время как расхождение лучей имеет величину первого порядка малости по абберации.

2. В целом, расчётную схему, расчётные формулы и трактовку оптического эксперимента Майкельсона-Морли по обнаружению движения Земли относительно эфира, следует признать ошибочными.

3. Следствия, которые были сделаны из этого эксперимента, должны быть пересмотрены. Так, из этого эксперимента не следует, что свет от одного и того же источника распространяется с постоянной скоростью относительно всех инерциальных систем отсчёта, как это принято в СТО Эйнштейна. Поэтому опыт Майкельсона-Морли не является экспериментальной основой СТО Эйнштейна.

**ФИЗИЧЕСКИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОШИБКИ
ОПТИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА МАЙКЕЛЬСОНА-МОРЛИ
И ИХ ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ, [1].**

А. Ф.Потехин

Одесский Национальный морской университет

65029 Одесса, ул. Мечникова, 34. Украина

a_potjekhin@osmu.odessa.ua

Выявлено, что в оптическом эксперименте Майкельсона-Морли поперечный луч, строго перпендикулярный продольному, не попадает в окуляр, а общепринятая интерпретация результатов этого опыта является ошибочной. Проанализированы исторические предпосылки допущенных ошибок.

В 2006 году исполняется 125 лет с момента проведения Майкельсоном оптического эксперимента [2], целью которого было обнаружение эфирного ветра при орбитальном движении Земли. Исходная идея и предпосылки опыта известны. Эфир неподвижен в Гелиоцентрической системе отсчёта. Величина и направление скорости света относительно эфира не зависит от того, покоится источник или приёмник света в эфире или движется относительно него. Прибор покоится на поверхности Земли. Монохроматический луч раздваивается полупрозрачной призмой на два взаимно перпендикулярных луча, которые, пройдя разные пути, сходятся, образуя интерференционную картину. По смещению интерференционных полос при вращении прибора предполагалось определить скорость эфирного ветра.

При таких исходных предпосылках два луча, взаимно перпендикулярные в абсолютной системе отсчёта (АСО) эфира, останутся взаимно перпендикулярными в этой системе отсчёта вне зависимости от того, покоится или движется прибор относительно эфира. Однако, вследствие абберации света, взаимная перпендикулярность этих лучей нарушится в относительной системе отсчёта (ОСО) движущегося вместе с Землёй прибора.

Произведём расчёт времени хода лучей отдельно в абсолютной и относительной системах отсчёта [3] при условии равенства плеч $PA = PB = l$.

а) Абсолютная система отсчёта (система отсчёта покоящегося эфира) – рис. 1.

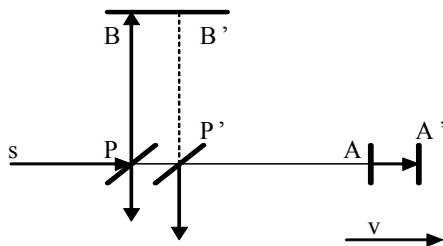


Рис. 1. Схема хода лучей в АСО.

Ход поперечного луча «туда-обратно» по PBP .

Скорость света в системе отсчёта покоящегося эфира равна c вне зависимости от направления его распространения. Пока продольный луч, испущенный в точке P , будет идти к зеркалу A , оно продвинется со скоростью v на расстояние vt'_1 . Тогда время хода t'_1 этого луча на пути «туда», равно

$$t'_1 = \frac{l + vt'_1}{c}, \quad (1)$$

откуда находим

$$t'_1 = \frac{l}{c - v}. \quad (2)$$

Аналогично, время хода t''_1 этого луча на пути «обратно», равно

$$t''_1 = \frac{l - vt''_1}{c}, \quad (3)$$

тогда

$$t''_1 = \frac{l}{c + v}, \quad (4)$$

и время хода продольного луча «туда - обратно» равно

$$t_1 = t'_1 + t''_1 = 2 \frac{l}{c} \cdot \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \quad (5)$$

Поперечный луч проходит расстояние $PB + BP = 2l$ за время

$$t_2 = 2 \frac{l}{c} . \quad (6)$$

Общее время t_1 распространения продольного луча на пути «туда - обратно» превышает время t_2 распространения поперечного луча на величину

$$\Delta t = t_1 - t_2 = 2 \frac{l}{c} \frac{v^2}{c^2} \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \approx 2 \frac{l}{c} \frac{v^2}{c^2} , \quad (7)$$

при этом поперечный луч проходит мимо окуляра на расстоянии

$$\Delta l = vt_2 = 2l \frac{v}{c} . \quad (8)$$

б) Относительная система отсчёта (система отсчёта движущегося прибора) – рис. 2.

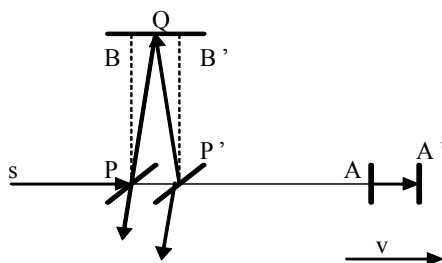


Рис. 2. Схема хода лучей в ОСО.

Ход поперечного луча «туда-обратно» по $P'QP$

Для пересчёта величины и направления скорости света от системы отсчёта эфира к системе отсчёта движущегося прибора применяется преобразование Галилея, согласно которому относительная скорость света c' равняется разности векторов абсолютной скорости света \bar{c} и переносной скорости \bar{v} движения прибора

$$\bar{c}' = \bar{c} - \bar{v} . \quad (9)$$

Отсюда следует, что алгебраическая величина относительной скорости света продольного луча на пути «туда» равна $c - v$, на пути «обратно» $c + v$. Тогда время хода продольного луча на пути «туда» совпадает с (2), «обратно» с (4) и суммарное время с (5).

Поперечный луч проходит со скоростью $c' = \sqrt{c^2 + v^2}$ расстояние «туда» $P'Q$, равное $\sqrt{(vt'_2)^2 + l^2}$. Тогда

$$t'_2 = \frac{\sqrt{(vt'_2)^2 + l^2}}{\sqrt{c^2 + v^2}}, \quad (10)$$

Откуда находим

$$t'_2 = \frac{l}{c}, \quad (11)$$

Такое же время затрачивает поперечный луч на пути QP «обратно», и общее время хода поперечного луча на пути «туда - обратно» совпадает с (6). Поэтому далее следуют те же результаты (7) и (8), как и должно быть, поскольку наблюдается один и тот же процесс, но из разных систем отсчёта.

Приведенный выше теоретический расчёт оптического опыта Майкельсона-Морли отличается от общепринятого расчёта в современной литературе. Во-первых, вопреки тому, что общепринято, поперечный луч, строго перпендикулярный продольному лучу в системе отсчёта эфира, не попадает в окуляр движущегося прибора. Это следует из схемы распространения лучей как в абсолютной – рис. 1, так и в относительной – рис. 2, системе отсчёта. Во-вторых, вопреки тому, что общепринято, ни в абсолютной, ни в относительной системе отсчёта поперечный луч не распространяется по пути PQP' . Наконец, в общепринятом расчёте найдено ошибочное время хода поперечного луча. Предыстория появления этих ошибок поучительна. Однако, говоря об этих ошибках, следует принять во внимание, что оптический эксперимент Майкельсона-Морли является чисто кинематическим, не имеющим никакого отношения к эфиру как динамической структуре. В этом эксперименте фигурируют лишь кинематические параметры – скорости \bar{c} , \bar{c}' , \bar{v} и нет никакого механизма физического взаимодействия эфира с движущимся телом, нет ни одного динамического параметра, например, плотности массы, энергии, тока и пр. Но во второй половине XIX столетия выделение кинематики в самостоятельный раздел физики только началось. Кинематические преобразования Галилея ещё не были вычленены, а кинематическая теорема Кориолиса с её понятиями абсолютного, относительного и переносного движения, скорости и ускорения ещё не стала рабочим инструментом физиков. Расчленение же некоторых понятий физики на их динамические и кинематические

компоненты продолжается до сих пор. Например, принцип относительности – динамический и кинематический; системы отсчёта – динамические и кинематические и т. д. [4], [5]. Поэтому не удивительно, что эфир, как динамическая компонента, в этом эксперименте фигурирует чисто фразеологически. Никакого вывода о том, есть эфир или нет, увлекается он или не увлекается движущимся телом, из этого эксперимента не может быть сделано, поскольку он является кинематическим по своей сути.

Первоначальный теоретический расчёт эксперимента Майкельсона 1881 года [2] основан на ошибочном предположении о том, что продольный и поперечный лучи, взаимно перпендикулярные в системе отсчёта прибора покоящегося в эфире, остаются взаимно перпендикулярными и в системе отсчёта прибора при его движении вместе Землёй. Но, несмотря на это, Майкельсон правильно определил время прохождения путей соответственно продольного (5) и поперечного (6) лучей “туда - обратно” при движущемся приборе. Это объясняется тем, что время хода продольного луча вычислялось им по относительной траектории луча (система отсчёта прибор) с учётом преобразования Галилея, а время хода поперечного луча – по абсолютной траектории луча (система отсчёта неподвижного эфира). Поэтому правильно была вычислена и разность времён хода продольного и поперечного лучей (7). Но Майкельсон не учёл явление абберрации света, поэтому он не увидел, что поперечный луч промахивается и не попадает в окуляр движущегося прибора.

При повторении данного опыта в 1887 году совместно с Морли, Майкельсон отметил: “При выводе формулы для измеряемой величины ранее было упущено из виду влияние движения Земли через эфир на путь луча, перпендикулярного этому движению. Ошибка была указана автору последней работы А.Потье (Париж) зимой 1881 г. Обсуждение этого упущения и всего эксперимента составляет предмет очень глубокого анализа Г. А. Лоренца, который выяснил, что данным эффектом ни в коем случае нельзя пренебрегать. Как следствие, в действительности величина, которая должна быть измерена, составляет только половину предполагавшейся величины, и, поскольку последняя уже была едва за пределами ошибок эксперимента, выводы, сделанные из результатов опыта, могли вполне основательно подвергнуться сомнению” [6]. Обратимся к анализу этого опыта Г. Лоренцем для уяснения сути его возражения.

Согласившись с правильностью расчёта времени хода продольного луча, Лоренц замечает: “Необходимо принять во внимание, что некоторый луч поперечного пучка, если даже он вернётся, как я это буду предполагать, в ту же самую точку пластины P , попадёт при этом уже в другую точку эфира, так как за тот промежуток времени, в течение которого свет прошёл

от P в B и обратно, упомянутая точка пластинки переместится со скоростью v в направлении движения Земли на некоторое расстояние, скажем, PP' - рис. 2. Если Q есть та точка эфира, в которой луч света встречает зеркало B , мы можем сказать с достаточным приближением, что точки P , Q , P' являются вершинами равнобедренного треугольника, высота которого есть l (так как отрезки PA и PB в приборе равны друг другу), а основание равно

$$PP' = 2v \frac{l}{c}. \quad (12)$$

Сумма сторон PQ и QP' имеет величину

$$2\sqrt{l^2 + \left(v \frac{l}{c}\right)^2}, \quad (13)$$

так что мы можем написать, что время пробега второго луча равно

$$t_2 = \frac{2l}{c} \sqrt{1 + \left(\frac{v}{c}\right)^2} \approx \frac{2l}{c} \left(1 + \frac{v^2}{2c^2}\right), \quad (14)$$

Отсюда вытекает, что вследствие движения между двумя лучами создаётся разность фаз

$$t_1 - t_2 = \frac{l}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^2, \quad (15)$$

которая, при длине l в несколько метров составит заметную долю периода колебаний" [7].

В этом рассуждении Лоренц, прежде всего, ошибается в траектории поперечного луча, направляя его по PQP' в системе отсчёта эфира – рис. 2. Далее Лоренц ошибочно полагает, что вектор скорости света в системе отсчёта движущегося прибора остаётся строго перпендикулярным к продольному лучу и величина этой скорости также остаётся неизменной и равной c . Здесь Лоренц делает молчаливое, ничем не оправданное предположение, что поперечный луч увлекается прибором, но это не относится к продольному лучу. Заметим также, что поскольку скорость продольного луча относительно прибора “туда - обратно” определялась согласно преобразованию Галилея, то и скорость поперечного луча должна определяться согласно этому же преобразованию. Тогда, даже если согласиться с утверждением Лоренца, что поперечный луч вовлекается в движение прибора и точка Q зеркала переместится в системе отсчёта эфира в направлении движения Земли, то величина этой скорости должна быть равна

сумме двух взаимно перпендикулярных векторов скоростей (переносной и относительной), то есть равной $\sqrt{v^2 + c^2}$. Но у Лоренца и эта скорость света, направленная по гипотенузе PQ, принимается опять-таки равной c . В результате, с одной стороны, время хода поперечного луча, вычисленное в системе отсчёта прибора, получается у Лоренца равным $t_2 = \frac{2l}{c}$, и именно это время учтено в формулах (12), (13). С другой стороны, это же самое время, вычисленное в системе отсчёта эфира, даётся выражением (14). Противоречие налицо.

Лоренц авторитетнейший физик-теоретик конца XIX столетия. Майкельсон безоговорочно принимает замечания Лоренца и повторяет его ошибки. Он, без каких-либо комментариев, воспроизводит схему хода лучей и теоретический расчёт Лоренца для поперечного луча, ограничившись оговоркой: “длина другого пути, очевидно, равна”, и далее следует формула (13).

Указанное противоречие у Лоренца, связанное с вычислением времени хода поперечного луча, вскоре было замечено и исправлено. Так, М. Борн в своей книге [8], полностью сохранив схему хода лучей согласно Лоренцу, даёт ей при этом такое пояснение. “Майкельсон и Морли заставляли поперечный луч проходить расстояние, равное одной и той же величине вперёд и назад, но в обоих случаях по перпендикуляру к направлению движения Земли по орбите. Когда свет движется от P до B – рис. 2, Земля проходит короткое расстояние вперёд, так что точка B перемещается в точку Q в эфире. Таким образом, истинное расстояние, пройденное светом в эфире, равно PQ ; если свету потребовалось время t'_2 для того, чтобы покрыть это расстояние, то $PQ = ct'_2$. За то же время точка P проходит расстояние $\frac{PP'}{2} = vt'_2$. Применяя теорему Пифагора к прямоугольному треугольнику, получим

$$(ct'_2)^2 = L^2 + (vt'_2)^2, \quad (16)$$

откуда

$$t'_2 = \frac{l}{c} \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad (17)$$

... Таким образом, на путь туда и обратно свет затрачивает время

$$t_2 = \frac{2l}{c} \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \text{”}. \quad (18)$$

Таким образом, с учётом исходных предпосылок опыта, как у Лоренца согласно (14), так и у Борна, согласно (18), время хода поперечного луча найдено неверно, отличаясь от правильного значения (6).

Во всей современной учебной и научной литературе в различных вариациях повторяются указанные ошибки при рассмотрении опыта Майкельсона-Морли. Приведенный выше правильный расчёт показывает, что поперечный луч отстает от прибора, промахивается и не попадает в окуляр. В результате никакой интерференционной картины в окуляре не должно появиться. Но ведь интерференционная картина наблюдалась! Тогда, естественно, возникают, по крайней мере, два вопроса. Вопрос первый, чем обусловлено появление интерференционной картины в опыте Майкельсона-Морли? Вопрос второй, что фактически измерялось в опыте Майкельсона-Морли? Для ответа на эти вопросы необходимо обратиться к экспериментальной части этого опыта и тщательно проанализировать саму методику его проведения.

Выводы.

4. Выявлено, что в оптическом эксперименте Майкельсона-Морли: а) допущена ошибка в общепринятом расчёте времени хода поперечного луча; б) поперечный луч не попадает в окуляр, куда поступает продольный луч.
5. Целью оптического эксперимента Майкельсона-Морли являлось измерение смещения интерференционных полос, величина которого имеет второй порядок малости по абберации, в то время как расхождение лучей имеет величину первого порядка малости по абберации.
6. В целом, расчётную схему, расчётные формулы и трактовку оптического эксперимента Майкельсона-Морли по обнаружению движения Земли относительно эфира следует признать ошибочными.

Литература

1. Потехин А. Ф. Физические и математические ошибки оптического эксперимента Майкельсона-Морли. //Сборник трудов IX международной учебно-методической конференции «Современный физический практикум», Волгоград (Россия), 19-21 сентября 2006 г. – Волгоград: Издательский дом МФО, 2006. – С. 70.

2. Michelson A.A. The Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether. American Journal of Science, Ser. 3, 1881, vol. 22, p. 120-129.
3. Потехин А. Ф. Классическая теория относительности. – Одесса: Маяк. – 2003.– С.31-36. (см. Потехин А. Ф. Физические и математические ошибки оптического эксперимента Майкельсона-Морли. Сайт в Интернете <http://potjekhin.narod.ru/>).
4. Потехин А. Ф. Краткий курс теоретической механики в вопросах и ответах с анализом базовых понятий (укр.). Рекомендовано Министерством образования и науки Украины для студентов вузов. Издание второе. – Львов: Новый свет. – 2004. – 200 с.
5. Потехин А. Ф. О замкнутом круге понятий наука-образование-наука на примере физики.// Научный вестник Академии наук высшей школы Украины.– 2004. – №28. – С. 112-120. (Сайт в Интернете <http://potjekhin.narod.ru/>).
6. Michelson A. A., Morley E. On the relative motion of the Earth and the Luminiferous Ether. American Journal of Science, Ser. 3, 1887, vol. 34, p. 333-345.
7. Лоренц Г. А. Теория электронов и её применение к явлениям света и теплового излучения. – М.: Гостехиздат. – 1956. – С. 280-284.
8. Борн М. Эйнштейновская теория относительности. – М.: Мир – 1972. – С. 209-213.