

4. Отчет об эксперименте по обнаружению эффекта

Фицджеральда-Лоренца

Эдвард В.Морли, Дэйтон К.Миллер

Report of an experiment to detect the Fitzgerald - Lorenz effect.

Edward W.Morley, Dayton C.Miller

В эксперименте по обнаружению возможных изменений скорости света в различных направлениях при движении аппаратуры вдоль или поперек световых волн в неподвижном эфире в 1887 г. был получен нулевой результат. После этого Фицджеральд и Лоренц выдвинули предположение, что при движении сквозь эфир размеры аппаратуры могут изменяться. Если такие изменения зависят от упругости или других физических свойств материалов, то можно попытаться обнаружить это экспериментально.*

Для исследования этого вопроса мы сконструировали два аппарата. В первом мы использовали песчаник, применявшийся в 1887 г., обрамленный досками из белой сосны. Силовое пересечение было построено из брусьев, имеющих 14 дюймов (355 мм) ширины, двух дюймов (51 мм) толщины и 14 футов (427 см) длины. Одни брусья были расположены с востока на запад, а другие – поперек них - с севера на юг, это перекрестие было соединено небольшими шипами. В пересечении брусьев было помещено устойчивое чугунное основание для обеспечения стабильности оптических путей. На концах после заполнения пространства между обшивными досками были прикреплены болтами железные опоры для зеркал. Все вместе было размещено на круглом поплавке, который был помещен в бочку, заполненную ртутью, и мог в ней вращаться.

Каждое из шестнадцати зеркал имело 4 дюйма (102 мм) в диаметре. Зеркала были установлены на остриях трех регулировочных винтов, против которых имелись удерживающие пружины. На основании на пересечении плеч крестовины были размещены плоское по-серебрянное полупрозрачное зеркало и компенсирующая пластинка, вырезанная из того же самого плоскопараллельного диска.

На рис.4.1 представлена немасштабная схема расположения оптики. Свет от источника S достигает зеркала D, часть света ответвляется и достигает зеркала II. Свет последовательно отражается от зеркал 2,

* Michelson A.A., Morley E.W. On the Relative Motion of the Luminiferous Ether. // Am.Jour.Sci. 1887. Vol.34. P.333.

3, 4, 5, 6, 7 и 8. От зеркала 8 он возвращается тем же путем к *D*, здесь часть отражается к наблюдателю *T*. Другая часть падающего луча отражается вдоль другого плеча крестовины, подобным же образом пропускается туда и обратно, возвращается и, наконец, поступает к наблюдателю. В реально примененной аппаратуре зеркало 5 расположено выше зеркала 3 на расстояние большее, чем его одна сторона, на рис. 4.2 показано это расположение. Весь путь света вдоль этих зеркал закрыт и защищен, чтобы уменьшить влияние воздушных потоков и других местных возмущений. В качестве источника света было использовано ацетиленовое пламя. Обладающий 35-кратным увеличением телескоп давал ясное изображение зеркала 8, на поверхности которого были четко локализованы интерференционные полосы.

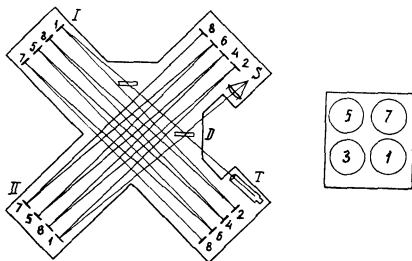


Рис. 4.1. Схема расположения оптических элементов в интерферометре

Рис. 4.2. Схема расположения зеркал по одному из плеч интерферометра

Были поставлены на свои места посеребрённые и отполированные зеркала, измерены и сделаны примерно одинаковыми длины обоих путей. Установив интерференцию в натрисовом свете, мы нашли центральную часть серии нескольких из семисот интерференционных линий, которые были ярче, чем примыкающие к ним триста линий. Эти поиски были недолгими, мы смогли увидеть интерференционную картину в белом свете, хотя и не воспользовались винтами для подстройки зеркала, которое всегда должно быть параллельным заданной поверхности. Этого мы добились благодаря тому, что оба плеча были сделаны настолько это было возможно симметричными.

Теперь мы вычислили направление и скорость движения центра аппарата с учетом собственного движения Земли по орбите и движения Солнечной системы по отношению к центральной точке небосвода. В течение части августа и весь сентябрь, а также почти весь октябрь это движение никогда не совпадало с плоскостью нашей аппаратуры. Для других месяцев есть два момента в сутки, когда движение происходит в требуемой плоскости, исключая два дня, когда и эти два момента отсутствуют. В начале июня эти два момента времени отсутствуют. В начале июня эти два момента времени приходятся примерно на 11 ч 20 мин до полудня по солнечному времени и на 9 ч 50 мин послеполуденного времени. Во время нашей последней серии наблюдений от 5 до 9 июля эти часы приходились на 11 ч 40 мин до полудня и на 8 ч 20 мин после полудня по местному времени.

После многих опытов с нитевым микрометром и со шкалой на зеркале 8 мы пришли к выводу, что было бы правильно накапливать большое число наблюдений, производя их в возможно более короткое время. Это нужно было выполнить в связи с присутствием всевозможных местных возмущений плотности воздуха, которые всегда создают трудности и иногда делают наблюдения невозможными, эти возмущения связаны с течениями в атмосфере, создаваемыми Солнцем. Вместо того, чтобы изменять период этих течений и управлять вращением Земли, без сомнения, быстрее получить результат, если сделать большое число наблюдений в заданное время, то есть быстрее, чем пройдет период измерений барометрической высоты, определяемой с высокой точностью ежечасно.

Один наблюдатель ходил по кругу вместе с движущимся аппаратом. Его глаз все время касался телескопа, поэтому он поддерживал вращение прибора с помощью нерегулярных мягких толчков через веревку, закрепленную так, чтобы не вносить каких-либо напряжений в плечи аппарата. Комната была затемнена. Второй на-

блюдатель также ходил вокруг вместе с аппаратом. Когда индекс устанавливался на одной из шестидесяти расположенных на равном расстоянии друг от друга отметок, второй наблюдатель называл азимут или подавал какой-либо другой сигнал. Первый наблюдатель считывал показания для данного азимута, которые записывал второй наблюдатель. Назывался следующий азимут, считывались показания и так далее. Часть времени, однако, затрачивалась на то, чтобы скорректировать чрезмерное смещение интерференционных полос, вызванных изменениями температуры; на это время наблюдения прекращались. Здесь требуется терпение и самообладание, без которых нельзя проводить работы подобного рода. Пробег по двадцать или тридцать оборотов, включающие в себя 320 или 480 считываний, были обычным делом. Пробег в тридцать оборотов означал, что наблюдатель, который должен был делать за один оборот шестьдесят считываний за 65 или 75 секунд, проходил половину мили, с трудом удерживая свой глаз на окуляре, с тем чтобы в течение получаса не прерывать наблюдений. Эта работа, конечно, весьма утомительна.

Наблюдения не могли начаться вплоть до августа, поскольку не было завершено многое из того, что требовалось. В период занятий в школе наблюдения были невозможны. Поэтому мы рассчитывали возобновить нашу работу в июне. Но мы тогда обнаружили, что наш основной аппарат очень сильно страдает от сухости здания, настолько, что мы не смогли поддерживать согласование наших интерференционных полос. Мы не сумели вовремя построить другой деревянный аппарат, а также хорошо продумать конструкцию другого аппарата, подобного первому. Поэтому мы запланировали создание нового аппарата и провели несколько экспериментов, чтобы убедиться, хотя это и было достаточно хорошо известно, не повлияет ли разница магнитного притяжения железных частей нашей аппаратуры на наши наблюдения. Мы подвесили два массивных куска железа на конец одного плеча так, что один из них находился на линии магнитного силового поля Земли, а другой смещен относительно первого; эти соотношения менялись на противоположные при изменении положения аппаратуры на противоположное. Однако наблюдения при такой нагрузке из железа давали тот же результат, что и раньше. Затем мы поместили на край одного плеча калиброванный груз — железный брусок. Он был помещен так, что при одном азимуте был близок к линии силы, а при другом — смещен относительно нее. Если бы существовала разница всего в миллиграмм в двухстах граммах, то это было бы обнаружено, но такой разницы не существовало. Мы исследовали, на какое расстояние сме-

даются интерференционные полосы под влиянием груза в 100 г, и убедились в том, что было известно и раньше: земной магнетизм не является мешающим фактором.

Румфордский комитет Американской Академии искусств и наук внес вклад в целях поддержки проведения эксперимента, мы предложили оригинальный проект жесткой и по возможности легкой стальной конструкции прибора, удовлетворяющей требованиям наблюдений. В этом новом аппарате все оптические пути пролегают по стальной раме, выполненной из пластин и уголкового железа и несколько напоминающей мостовые блоки. В центре конструкции, имеющей форму крестовины, установлена стальная коробка кубической формы с ребрами по 14 дюймов (355 мм). Каждая из четырех сторон куба тщательно прикреплена к плечу аппарата, плечи имеют длину по 6,5 футов (около 2 м). Каждое плечо сделано из стальных пластин толщиной $3/8$ дюйма (19 мм), шириной 18 дюймов (457 мм) на одном конце и 6 дюймов (152,5 мм) на другом, установленных на ребро. Содержит 24-дюймовые (355 мм) пластины, угловое железо и другие элементы. Этот каркас показан на фотографии 1, из которой видно, что структура представляет собой в сущности две жесткие формы, каждая 14 футов (427 см) длиной, пересекающихся под прямым углом и симметричных в отношении как напряжений, так и прочности.

На двух концах крестовины *S* и *T* (см.рис.4.1) находятся две вертикальные чугунные рамки, прикрепленные болтами, каждая из которых несет четыре зеркала, обозначенные 2, 4, 6 и 8. Против углов каждой из этих рамок находятся четыре сосновые рейки диаметром $3/4$ дюйма (19 мм) и длиной 14 футов (427 см); каждая рейка пропущена по всей длине в латунную трубку диаметром 1 дюйм (25,4 мм), каждая пара трубок соединена вместе с вертикальной фермой, как показано на фотографии 1. Напротив дальнего конца этих реек установлены рамы, удерживающие два набора зеркал, I и II. Каждая из этих последних рам свободно подвешена с помощью двух тонких стальных лент и прочно удерживается напротив сосновых реек и прямо напротив них одним из двух фиксированных зеркальных держателей; давление передается с помощью регулируемой спиральной пружины. Таким образом, расстояние между противоположными системами зеркал зависит только от положения сосновой рейки. Эта конструкция позволяет удобно заменять стержни на другие из другого материала, так что эксперимент может быть легко использован для проверки того, по-разному ли зависят размеры различных материалов от движения сквозь эфир. Диагональные зеркала удерживаются регулируемыми кронштейнами, привинченными к стальной раме око-

ло центра. Наблюдательный телескоп с полуторадюймовой апертурой и увеличением в 35 раз прикреплен к кронштейнам, привинченным к стальной раме. Ацетиленовая лампа и четырехдюймовый конденсор установлены на деревянной полке на достаточном расстоянии от зеркал, которые защищены асбестовыми экранами с воздушными промежутками. Весь световой путь в аппарате закрыт деревянным покрытием, сделанным из сосновых досок толщиной 7/8 дюйма (22 мм) и имеющим там, где это требуется, дверцы и стеклянные окна. Глаза наблюдателя защищаются от внешнего света темной маской.

Весь аппарат в целом весит около 119 фунтов (49 кг), он установлен на круглой деревянной платформе около 5 футов (1,5 м) диаметром. Кольцеобразный выступ на нижней части платформы погружен в ртуть на такую глубину, чтобы платформа с аппаратом могла плавать. Ртуть содержалась в кольцевом чугуном чане таких размеров, чтобы между железом и поплавком оставался зазор около половины дюйма. В центр железного чана вмонтирована маленькая шпилька, которая входит в углубление в деревянном поплавке, чтобы удерживать поплавок от соприкосновения со стенками чана.

На фотографии 1 (рис.4.3) показана стальная конструкция и поплавок вместе с соединениями, которые поддерживают части на нужном расстоянии. На фотографии видны рамы с зеркалами и телескоп, но лампа и линзы отсутствуют. На фотографии 2 показан аппарат в том виде, в котором он использовался во время наблюдений.*

В этом аппарате интерференционные линии, настроенные в определенный понедельник, остаются в порядке в течение всей недели, пока проводятся наблюдения. Наблюдения проводились по той же схеме, что и при использовании предварительной аппаратуры.

Мы получили 260 полных наблюдений, состоящих каждое из считанных шестнадцати азимутов вокруг окружности. Из данных наблюдений годового движения Земли ее скорость вместе со скоростью движения Солнечной системы может быть принята как 33,5 км/с. Скорость света 300.000 км/с, отношение квадратов скоростей составляет $0,72 \cdot 10^8$. Длина пути луча в нашем аппарате составляла 3224 см, в этом расстоянии укладывается $5,5 \cdot 10^7$ волн натриевого света. Ожидаемый эффект проявляется дважды при повороте через 90° , смещение интерференционных полос в соответствии с простой кинематической теорией составит $11 \cdot 10^7 \pm 0,72 \cdot 10^8$. Это 1,5 длины волны.

* Фотографии не приводятся в связи с техническими трудностями воспроизведения нечеткого изображения в статье-оригинале. - В.А.

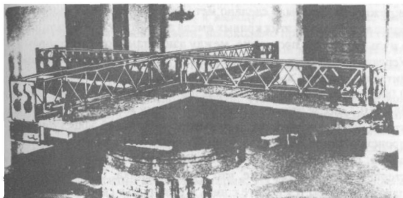


Рис. 4.3. Интерферометр Морли-Миллера

Как было отмечено, имеются два момента времени в день, когда наблюдения наиболее благоприятны. Для этих двух моментов было вычислено направление движения с привязкой к фиксированной линии на полу комнаты, и мы должны были провести наблюдения в эти два момента времени, которые соответствовали линии дрейфа. Сделав это и вычтя постоянную составляющую, чтобы сделать алгебраическую сумму наблюдений равной нулю, мы получили определенный результат. Затем прибавив первый период к девятому и так далее, поскольку эффект повторялся по окружности, мы получили окончательный результат.

Результат наблюдений при различных азимутах

Азимут	8	7	6	5	4	3	2	1
Длина волны	+0,0075	+0,0088	+0,0113	-0,0102	-0,0123	+0,0027	-0,0021	-0,0062

Азимут, обозначенный 1, означает, что телескоп аппарата был направлен Сев. 29° Вост.; Сев. 16° Зап.; Сев. 61° Зап.; и т.д. С учетом ошибок наблюдений можно с уверенностью назвать эти числа. По этим

данным мы вычислили некоторые кривые теоретической формы, имеющие шестнадцать равноотстоящих отсчетных точек на половине окружности. Это было сделано методом наименьших квадратов. Наиболее вероятная из этих кривых имела амплитуду $0,0073$ длины волны, а ноль находился посредине, между азимутами, обозначенными 4 и 5. Усреднение данных наблюдений дало $0,0076$ длины волны; после вычитания ординат вычисленной кривой значение остатка составило $0,0066$ длины волны. Сумма квадратов остатков раньше составляла $565 \div 10^{-4}$, после этого — $329 \div 10^{-4}$. Поэтому мы могли декларировать, что эксперимент показал: если имеется некоторый эффект природного происхождения, он составляет не более сотой части вычисленного значения. Если, как предполагалось, сосна подвержена воздействию, то степень воздействия та же, что и из песчаника. Если эфир около аппарата не движется вместе с ним, а различие в скорости меньше, чем $3,5$ км/с, значит, эффект воздействия на материал аннулирует искомый эффект.

Можно думать, что проведенный эксперимент доказал лишь, что в спокойной подвальной комнате эфир увлекается вместе с ней. Поэтому мы хотим поднять место размещения аппарата на холм, закрыть его только лишь прозрачным покрытием с тем, чтобы посмотреть, не будет ли обнаружен какой-либо эффект. Как только Румфордский комитет даст нам разрешение использовать недоиспользованные средства, мы надеемся выполнить эксперимент в такой форме, которая позволила бы провести наблюдения в необходимых условиях.

Philosophical Magazine, 8(6), 680-685, 1905.