

13. Повторение эксперимента Майкельсона–Морли
с использованием усовершенствования Кеннеди
К.К.Иллингворт

A repetition of the Michelson–Morley experiment using Kennedy's
refinement
K.K.Illingworth

Эксперимент по эфирному ветру, выполненный Кеннеди с помощью усовершенствованной оптической системы, заполненной гелием, был повторен с тем же, но несколько усовершенствованным аппаратом, и были получены те же результаты. Интерферометр был усовершенствован путем нового покрытия зеркал серебром так, чтобы сдвиг полос в $1/1500$ мог быть замечен наблюдателем с хорошим зрением, а в $1/500$ – наблюдателем со слабым зрением. Были сделаны дополнительные отсчеты, которые исключили постоянные температурные сдвиги полос, и они не показали наличия какого-либо эфирного ветра с точностью примерно до 1 км/с.

В недавней работе Кеннеди (Nat. Acad. Sci. Proc. 1926. Vol. 12. P. 621-629.) д-р Р.Дж. Кеннеди, член научного общества Института технологии в Калифорнии, описал модификацию интерферометра Майкельсона и его применение в эксперименте по обнаружению эфирного ветра. Эта модификация заключалась в наличии маленькой ступеньки толщиной в $1/20$ длины волны света в одном из общих отражающих зеркал интерферометра. Цель настоящего исследования заключается в изучении чувствительности, получаемой методом Кеннеди, и дальнейшим изучением существования эфирного ветра с помощью аппарата Кеннеди. Эта работа была выполнена в подвальной комнате с постоянной температурой в физической лаборатории Норман Бридж.

Плот, зеркала и источник света, а также методы регулировки остались теми же, которыми пользовался Кеннеди. Зеркала были смонтированы в стальные и латунные опоры, соединенные с мраморной плитой, имеющей площадь 4 фута ($0,37$ м²). Латунная опора включала в себя зеркала и световые пути, так что эти пути могли быть заполнены гелием или откачаны по желанию. Гелий использовался в силу того, что он имеет малый коэффициент преломления, так что изменения из-за вариаций температуры сокращаются до значений, которыми можно пренебречь. Три зеркала, которые использовались ранее,

пришлось посеребрить заново, так как они потускнели, а два, которые имели платиновые поверхности, в этом не нуждались.

Одно из платиновых зеркал имело ступеньку высотой примерно в $1/20$ длины волны зеленого цвета. Свет от источника был сфокусирован, и соответственно был сфокусирован наблюдательный телескоп. Из-за малой разницы в оптическом пути в двух половинках ступенчатого зеркала образуется небольшая прерывистость между системами полос с каждой стороны ступени; обе системы сдвинуты по фазе на $1/10$ полосы. В целом это приводит к сильному изменению яркости на ступени *A*, как показано на рис. 13.1, *a*, где представлены распределения энергии в системах полос вблизи ступеньки. Если, однако, полосы смещены относительно ступени, как показано на рис. 13.1, *b*, то в *A* не возникает прерывистости в яркости. Следовательно, когда телескоп сфокусирован на небольшой области в непосредственной близости к ступеньке, можно наблюдать два варианта полей зрения, как показано в небольших кружках сразу под *A* на каждом графике. В случае *a* две половинки поля освещаются неравномерно и разграничены четкой линией, в случае *b* обе половинки поля освещаются одинаково. Это равенство двух половинок поля дает очень чувствительный способ для определения точного положения полос, так как сдвиг на $1/20$ полосы

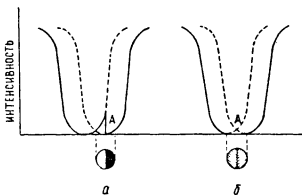


Рис. 13.1. Иллюстрация полутеневого метода локализации положения интерференционных полос. По оси абсцисс — смещение полос; по оси ординат — интенсивность освещенности поля зрения; внизу условный вид двух полей зрения — при разной освещенности половинок поля (*a*) и при одинаковой (*b*). Смещение полос вызывается искривлением мраморной плиты при помещении на нее дополнительного груза

изменит поле от равной яркости на обеих сторонах до нуля на одной стороне и до яркости в несколько раз большей по сравнению с начальной яркостью, на другой. Количественная теория изменения яркости при небольших сдвигах была действительно разработана Кеннеди.

Для экспериментального изменения яркости при таком расположении полос был применен метод Кеннеди по искривлению мраморной плиты путем размещения небольших грузов на одном ее углу. Прямое движение компенсирующего зеркала вызывало слишком значительное смещение полос и не могло быть установлено точно. Подбирая груз, который требовался для искривления мраморной плиты и который существенно изменял расположение интерференционной картины, можно было вычислить пропорционально вес груза, требуемый для сдвига картины на целую полосу. Это было сделано с допущением, что закон Гука остается в силе для небольших значений прилагаемой силы. Для этого случая было определено, что 7500 г, расположенных в определенной точке на плите, сдвигают картину на одну полосу. Аппарат затем регулируется таким образом, чтобы яркость на ступени была одинаковой (в поле зрения — В.А.) и не было видно линии раздела. Другими словами, обе системы устанавливаются так, как это показано на рис. 13.1,б. Часть полосы, действительно наблюдаемая, была настолько малой, что обе половины поля были хорошо выравнены. С помощью наименьшего веса, производящего заметное изменение яркостей двух половинок поля, когда его положат в определенной точке, измеряют чувствительность или наименьший сдвиг полос, который может быть определен.

В связи с тем, что чувствительность этого метода зависит от минимальной разницы в яркости, которую только может ощутить наблюдающий, чувствительность определялась пятью сотрудниками из штата лаборатории. Во время проведения испытаний наблюдатель не мог видеть тех разновесов, которые добавляются или убираются. Чувствительность глаз наблюдателей была определена как соответствующая минимальному весу, устранение или добавление которого наблюдатель мог отличить правильно в 9 случаях из 10. В табл. 1 приводятся значения чувствительности глаз 5 наблюдателей в пределах граммов, добавляемых или убираемых, и соответствующий сдвиг полос. В последней колонке дается скорость эфирного ветра, соответствующая этим сдвигам.

Таблица 1. Чувствительность интерферометрической системы, определенная пятью наблюдателями

Наблюдатель	Минимальный определяемый вес	Часть полосы	Скорость эфирного ветра, км/с
А	15	0,002	5,0
В	15	0,002	
С	5	0,0007	3,0
Д	5	0,0007	
Е	25	0,0035	6,6

Оригинальный метод Кеннеди по наблюдению за эфирным ветром был использован в конце июня, когда ожидалось стабильные температурные условия, чтобы аппарат мог вращаться на 90° и обратно в начальное положение без значительного изменения яркости двух половинок поля зрения. Во всех случаях наблюдающий начинал смотреть на север, затем аппарат поворачивался на запад, потом опять на север. В 13 случаях в течение 10 дней было возможно выполнить вышеприведенные условия. Ни в одном случае, когда условия были выполнены и когда аппарат поворачивался с севера на запад, нельзя было наблюдать сдвиг более, чем 0,002 полосы, который бы зафиксировал эфирный ветер больше 5 км/с.

В связи с тем, что было трудно получить стабильные температурные условия, было решено использовать метод, который исключает эффект устойчивого смещения из-за температурных изменений. На вертикальной стойке, прикрепленной к мраморной плите, было установлено большое количество грузов по 14 г в точке, в которой проводились предыдущие измерения чувствительности. После того, как поле зрения было точно сбалансировано, отмечалось, сколько грузов было убрано или добавлено для того, чтобы все было сбалансировано снова после поворота на 90° . Таким образом было возможно получить цифровые отсчеты для определения сдвига полос по мере продолжения вращения и получить среднее значение отсчетов таким образом, что даже малейшие сдвиги эфира могли бы быть обнаружены с большой точностью. Этот метод имеет преимущество и в том, что ничто не влияет на объективность наблюдателя.

Во время первых 10 дней июля был сделан ряд наблюдений по следующей программе. Каждый день в 11, в 17 часов или в 5 часов утра и в 23 часа аппарат поворачивался на 20 оборотов, и отсчеты

проводились через каждые 90°. Во время первых 10 оборотов наблюдающий останавливал аппарат и делал отсчеты, когда он смотрел на север, запад, юг, восток и север. Отсчеты делались через каждые 30 с. Во время последних 10 оборотов направления изменялись на северо-восток, северо-запад, юго-запад, юго-восток и северо-восток.

В табл. 2 даются отсчеты, проведенные в 11 часов утра 9 июля для положений С, Ю, В, З и С и являющиеся типичными для всех сделанных отсчетов. Числа представляют полное число грузов, пропорциональных смещению полос, которые убирались после того, как аппарат был повернут от исходного положения с направлением на север. Один груз соответствует 1/500 части полосы.

Как будет показано, этот метод усреднения исключает влияние устойчивых температурных смещений. Результаты смещений за 10 дней приведены в табл. 3. Каждое значение в табл. 3 представляет смещение полос при различной ориентации, определенное для серии отсчетов для 10 оборотов, подобно тому, что представлено в табл. 2.

В табл. 3 скорость эфира вычисляется по хорошо известной формуле, которая для размеров использованного в нашем случае интерферометра упрощается до $v = 112D^{1/2}$, где D – смещение полос, вызванное поворотом на 90°. Были вычислены возможные погрешности для отклонений значений, указанных в табл. 3, от средних. Смещения полос, которые можно наблюдать на использованном оборудовании для определения скорости эфирного ветра, как это описано Миллером, вычислялись из данных, приведенных в работах Миллера и Кеннеди. Скорость эфирного ветра, по описанию Миллера, достигает максимума через 5,5 ч после звездного полудня. Максимум приходится примерно на 11 часов дня того времени года, когда были сделаны отсчеты.

Таблица 2. Отсчеты, сделанные для положений С, Ю, В, З и С в 11.00 9 июля 1927 г.

Цифры представляют общее число масс, убираемых для того, чтобы сбалансировать систему. Одна масса эквивалентна 1/500 части полосы

С	В	Ю	З	С
0	-3	-7	-12	-17
0	-5	-10	-15	-19
0	-4	-9	-14	-19
0	-4	-9	-14	-19

С	В	Ю	З	С
0	-4	-8	-13	-20
0	-8	-14	-19	-23
0	-5	-10	-14	-17
0	-5	-8	-12	-17
0	-4	-9	-14	-18
0	-4	-9	-13	-18
Среднее 0	-4,6	-9,3	-14	-18,7
Среднее СЮС =	-9,33			
Среднее ВЗ =	-9,30			
	-0,03	- среднее смещение вследствие ориентации, в числах масс		

Для 11.00 и 17.00, когда было сделано большое число отсчетов и когда контроль за температурой был наиболее тщателен, вероятная погрешность, как показано в табл. 3 соответствовала скорости смещения эфира примерно 1 км/с. Для 23.00 и 5.00, когда было сделано наименьшее число отсчетов и когда температурные условия были неустойчивыми, вероятная погрешность соответствует несколько большей скорости. Поскольку более чем в половине случаев наблюдаемый сдвиг меньше, чем вероятная погрешность, настоящую работу нельзя рассматривать как указывающую на эфирный ветер с точностью 1 км/с. Это несколько больше 1/10 скорости, найденной Миллером. Настоящая работа показывает, что для наиболее надежных 11.00 и 17.00 часов среднее значение смещения, непосредственно наблюдаемой величины, никогда не превышало 1/100 максимального, составляющего 0,008 и вычисленного из миллеровских наблюдений. И даже наибольший отсчет в 5.00 даст только 1/22 этого значения.

Физическая лаборатория Норман Бридж.
Институт технологии в Калифорнии,
15 августа 1927 г.

Physical Review. 1927. Vol. 30, November. P. 692-696.

Таблица 3. Итоговые результаты

	5.0		11.00		17.00		23.00	
	СЮ-ВЗ	СЗ, ЮВ-ЮЗ, СВ	СЮ-ВЗ	СЗ, ЮВ-ЮЗ, СВ	СЮ-ВЗ	СЗ, ЮВ-ЮЗ, СВ	СЮ-ВЗ	СЗ, ЮВ-ЮЗ, СВ
	+0,12	-0,33	+0,35	-0,11	+0,12	+0,22	-0,05	+0,12
	+0,57	+0,12	-0,21	-0,18	-0,28	-0,23	+0,09	+0,09
	0,00	0,00	-0,03	-0,26	-0,72	-0,40	-0,63	-0,03
	+0,10	-0,22	-0,15	+0,06	-0,08	+0,02	-0,22	-0,13
	+0,32	0,00	-0,11	+0,19	+0,09	+0,08	0,00	+0,12
	-0,01	-0,05	+0,24	+0,10	+0,15	+0,15	-0,20	-0,02
			-0,07	-0,03	+0,15	+0,07		
			-0,03	+0,02	+0,18	-0,18		
			-0,03	+0,08	+0,03	-0,03		
			00,00	+0,12	-0,05	+0,05		
Среднее смещение в числах масс	+0,18	-0,08	-0,004	-0,001	-0,041	-0,025	-0,17	+0,025
Смещение полос	+0,00036	-0,00016	-0,000008	-0,000002	-0,000082	-0,000030	-0,00014	+0,000050
Вероятная погрешность	0,00012	0,000090	0,000073	0,000060	0,00012	0,000082	0,00014	0,000056
Скорость эфира в км/с	+2,1	-1,41	-0,32	-0,16	-0,1	-0,79	-2,1	+0,79
Смещение полос для результатов Миллера	0,003	0,005	0,008	0,000	0,003	0,005	0,002	0,000