

II. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА: ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ КАРТИНА

Интерферометр Жамена, схематически изображенный на Рис. II, состоит из двух строго плоскопараллельных стеклянных пластин одинаковой толщины; одна сторона пластин посеребрена для улучшения отражения света.

Луч света падающий на первую пластину в точке 1, отчасти отражается в направлении 1-2, Отчасти преломляется в направлении 1-6. Первая часть отразившегося в точке 1 луча, в точке 2 снова разбивается на луч, отраженный в направлении 2-8 и луч, преломленный, который идет в направлении 2-3-4-5. Вторая часть луча, преломленная в точке 1, идет дальше по направлению 1-6-7 и, если пластинки параллельны, то попадает в точку 4, где опять делится на луч, отраженный в направлении 4-5, и луч, преломленный в направлении 4-9.

Таким образом в направлении 4-5 идут два луча: луч 0-1-2-3-4 и луч 0-1-6-7-4-5. Эти лучи, будучи когерентными, интерферируют. Если пластины совершенно одинаковы и их плоскости точно параллельны друг другу, то, как легко видеть, оптическая разность хода для этих лучей равна нулю. Это справедливо для лучей, падающих на первую пластину интерферометра под любыми углами.

Таким образом, даже в том случай, когда первая пластина освещается светом от широкого источника, никакой интерференционной картины при параллельности пластин наблюдаться не будет.

Если повернуть вторую пластину вокруг вертикальной оси, как это показано на (Рис. II), то лучи 0-1-2-3-4-5 и 0-1-6-7-4-5, которые раньше проходили одинаковые пути в стекле и в воздухе, будут иметь разность хода, которая будет одинакова для всех лучей, идущих параллельно направлению 0-1, но будет различной для лучей, падающих на первую пластинку под разными углами. В этом случае наблюдатель увидит ряд кривых равного наклона, которые будут иметь вид вертикальных полос. Если пластинки близки к параллельности, то полосы будут широкими и далеко отстоящими друг от друга: при увеличении угла между пластинами они становятся более узкими и располагаются теснее.

Если вторую пластинку повернуть вокруг горизонтальной оси, лежащей в ее плоскости (см. пункт на Рис. II), то лучи, которые раньше шли в направлении 4-5, теперь выйдут из плоскости чертежа. При этом изменится длина пути лучей, как внутри второй пластинки, так и в воздухе. Однако, возникающая при этом разность хода будет одинакова для всех лучей, параллельных лучу 0-1, на какое бы место первой пластинки они ни падали; но

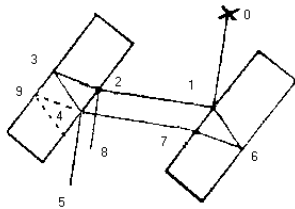


Рис. 9.

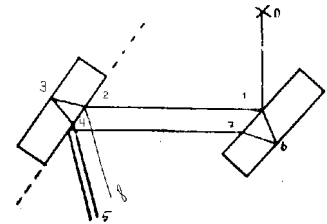


Рис. 10.

для лучей, падающих на первую пластинку под некоторым углом γ к плоскости чертежа, оптическая разность хода будет другой. В результате будут наблюдаться кривые, которые при небольших отклонениях пластинки от вертикали имеют вид горизонтальных полос.

Если в то время, когда вторая пластинка наклонена к горизонту и в трубе наблюдаются горизонтальные полосы, начать очень медленно вращать ее вокруг вертикальной оси, то, при очень малых углах поворота это приведет к тому, что условия интерференции будут одинаково изменяться для всей интерференционной картины и полосы начнут двигаться вверх и вниз. При больших углах поворота полосы будут не только смещаться, но и становиться наклонными вследствие совместного действия причин, приводивших в отдельности к образованию вертикальных и горизонтальных полос.

Кроме основной системы интерферирующих лучей, идущих в направлениях 1–2–3–4–5 и 1–6–7–4–5 в направлении 4–5, могут идти и другие лучи, например, луч 0–1–2–8. Эти лучи не будут, однако, интерферировать с лучами 1–2–3–4–5 и 1–6–7–4–5, так как разность хода между ними оказывается порядка 100000 длин воли, т.е. превышает предельную разность хода, при которой еще может в обычных условиях наблюдаться интерференция (только при работе в специальных условиях с особо монохроматическими линиями этот предел может быть превышен до 500000 длин волн). По той же причине в интерференции не будут принимать участия лучи, отразившиеся последовательно от двух задних поверхностей пластин. Однако, эти лучи будут иметь интенсивность значительно большую, чем интерферирующие, так как, во-первых задние поверхности пластин посеребрены и отражают свет почти полностью, и во-вторых, луч преломившийся при переходе в стекло, в рассматриваемых условиях интенсивнее, чем отразившийся, более чем в 10 раз. Наложение этих побочных лучей делает картину трудно наблюдаемой. На Рис. II эти побочные лучи изображены жирными линиями (d,c).

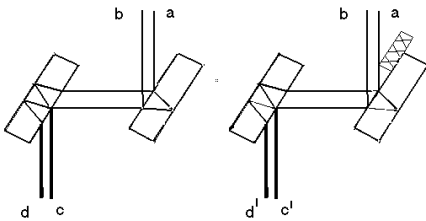


Рис. 11. Слева рисунок а, справа рисунок б.

Рассмотрим подробнее Рис. II-а. Пусть на первую пластину падают лучи параллельные а. Лучи, лежащие между а и б, будут принимать участие в создании интерференционной картины между с и d. На этот участок поля зрения будут попадать побочные лучи, параллельные а, и они сделают невозможным наблюдение в интервале с–d.

Чтобы устранить этот недостаток, перед первой пластинкой надо поставить диафрагму с вырезом так, чтобы исчезло яркое освещение, создаваемое побочными лучами. Перед первым зеркалом укреплена диафрагма с вырезом, перемещение которой следует добиться устранения побочных лучей.

На Рис. II-б изображено предельное положение заслонки, при котором в поле зрения может проникнуть только один побочный луч. Вся интерференционная картина при этом сосредоточена между с' и d' и, как это легко установить из чертежа, в эту область не могут попадать побочные лучи ни при каких углах падения на первую пластинку.

Диафрагма играет, кроме этого, и другую роль: она не позволяет попадать в поле зрения лучам, дважды отразившимся внутри первой и второй пластинки. Такие пары лучей, будучи когерентны между собой, могли бы создавать собственную картину интерференции; эта картина была бы значительно менее интенсивной, чем основная, но все же мешала бы наблюдениям

Нулевая полоса

Если падающие лучи строго монохроматичны, то полосы могут наблюдаться при очень больших оптических разностях хода между интерферирующими лучами. Если же первую пластинку освещать белым светом, то системы полос, создаваемые различными длинами волн, накладываются друг на друга и различимым остается только небольшое количество полос, соответствующих малым разностям хода. В середине этой цветной группы полос должна находиться одна светлая полоса, которая соответствует разности хода, равной нулю. Обычно эту полосу называют "нулевой".

Для того, чтобы разность хода, вводимая пластинками, была равна нулю, отнюдь не требуется, чтобы обе пластинки были строго параллельны; наоборот, как было указано выше, при строгой параллельности пластинок никаких полос не получается.

Можно легко доказать, что разность хода между лучами а и b, (Рис. II), вводимая пластинкой, имеющей толщину d и показатель преломления n, при угле падения α равна:

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}$$

Если при падении на первую пластинку лучи составляли угол α с нормалью к ее плоскости, а при падении на вторую пластинку образуют угол β с нормалью к этой пластинке, то разность хода, вводимая обеими пластинками, равна:

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \beta} \quad (3)$$

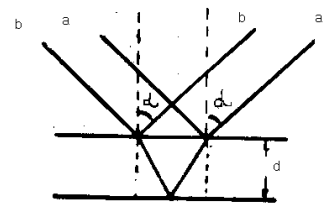


Рис. 12.

Из этого выражения видно, что $\Delta = 0$, когда $\angle\alpha = \angle\beta$ но эти углы могут лежать в разных плоскостях: нормаль ко второму зеркалу может быть направлена по любой образующей конуса, проведенной под углом α , вокруг луча, отраженного от первой пластинки.

В описываемой работе "нулевую" полосу нужно найти перед измерениями и затем после измерений проверить, что положение ее не сместилось. Это служит доказательством того, что за время измерения взаимное положение зеркал не изменилось.

Определение показателя преломления воздуха

Между пластинами интерферометра расположен сосуд С (Рис. II) разделенный вдоль всей длины непроницаемой для воздуха перегородкой. Концы этого сосуда закрыты плоскопараллельными пластинками. Если в одной из половин сосуда уменьшить давление, то оптическая длина пути в этой половине уменьшится. Если при этом давление в другой половине останется неизменным, то возникнет разность хода и, интерференционные полосы сместятся.

Пусть показатель преломления уменьшился от n до n_1 тогда оптическая длина пути изменилась от nL до n_1L , где L -длина сосуда С. Если при этом через нить трубы прошло N полос, то:

$$N\lambda = nL - n_1L \quad (4)$$

где λ -длина волн интерферирующих лучей.

Согласно закону Лоренц-Лорентца показатель преломления связан с плотностью следующим уравнением:

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = \alpha d \quad (5)$$

где d -плотность вещества, а α -постоянная различная для различных веществ. Для газов, когда n очень близко к единице, эту формулу удобнее переписать так:

$$n - 1 = \frac{n^2 + 2}{n^2 + 1} \alpha d$$

так как d пропорционально давлению P , то с достаточно большой точностью можно написать:

$$n = 1 + \beta P \quad (6)$$

β — новая постоянная величина. Заменяя n и n_1 в уравнении 4, получаем:

$$\frac{n\lambda}{L} = \beta(P_1 - P_2)$$

и следовательно:

$$n_p = 1 + \frac{N}{P_1 - P_2} \frac{\lambda}{L} P \quad (7)$$

изменив N и $P_1 - P_2$ и зная λ и L , можно вычислить показатель преломления n при любом давлении P . Если при создании разности давлений в 750 мм, через нить трубы проходит N_0 полос, то:

$$n_{760} = 1 + \frac{N_0\lambda}{L} \quad (8)$$

Настоящая работа заключается в проверке правильности закона Лоренц-Лорентца в форме уравнения 6 и в определении показателя преломления воздуха для зеленой линии ртути ($\lambda = 546,1 \text{ нм}$).

Установка интерферометра и порядок измерений

Установка интерферометра и измерение показателя преломления обычно производятся в следующем порядке:

1. При помощи винтов А и В, изображенных на Рис. II, поворачивают вторую пластинку вокруг горизонтальной и вертикальной осей так, чтобы ее плоскость стала приблизительно параллельной плоскости первой пластинки.

2. Ориентируют интерферометр так, чтобы свет, идущий от дуги и отраженный зеркалами, попадал в поле зрения трубы. Между дугой и первым зеркалом ставят зеленый фильтр.



Рис. 13.

3. Перед первым зеркалом перемещают заслонку до тех пор, пока полосы не будут видны во всем поле зрения. Если полос не видно, то либо пластинка оказалась параллельной первой пластинке, либо угол между пластинками настолько велик, что полосы очень мелки. В обоих случаях, поворачивая вторую пластинку вокруг горизонтальной оси, при помощи винта А, можно добиться появления полос.

4. Когда полосы видны, вставляют трубу в оправу и фокусируют ее на наилучшую видимость полос. Затем при помощи винтов А и В поворачивают вторую пластинку так, чтобы в поле зрения находилось 5–6 полос и чтобы они были горизонтальными.

5. Проверяют, что краны "а" и "б" открыты и что уровень ртути в обоих коленах манометра одинаков.

6. Убедившись, что уровень ртути в обоих коленах манометра одинаков, ртутную лампу заменяют, не выключая, лампой накаливания. Если в зеленом свете полосы были горизонтальны, то при небольшом повороте винта В в ту или другую сторону, (не больше одного оборота) можно найти группу цветных полос. Судя по симметрии окраски, находят в середине этой картины светлую нулевою полосу. Устанавливают соседнюю с ней темную полосу вдоль горизонтальной нити трубы. С этого момента интерферометр установлен и прикасаться к нему нельзя (ни к штативу, ни к пластинкам).

7. Убирают источник белого света и ставят на его место ртутную дугу. Проверяют, что нить трубы находится на темной полосе.

8. Изменение давления воздуха производится при помощи вакуумной системы, изображенной на Рис. II В качестве вакуумного насоса используется стеклянный водоструйный насос (I). Давление измеряется ртутным манометром. (II) и (III) — вакуумные краны.

Убедившись, что краны (II) и (III) находятся в положении (1) (открыты на атмосферу), плавным поворотом крана на водопроводной колонке довести напор воды до максимального. Открыть краны на сосуд. При этом происходит откачивание воздуха из сосуда СД-9. За изменением давления можно следить по манометру. Создав нужный вакуум (не более 700 мм.рт.ст), кран (III) поставить в нейтральное положение, а кран (II) поставить в положение (1) (впуск воздуха в насос) и перекрыть подачу воды.

ВНИМАНИЕ!

1. Категорически запрещается изменять напор воды, если кран (II) не открыт на атмосферу.

2. Кран (II) может находиться в положении (2) только при работающем насосе.

Несоблюдение этих правил ведет к порче водяного насоса.

3. Наблюдая в зрительную трубу (5) интерференционные полосы производят напуск воздуха в интерферометр (кран (III)) в положении (1).

Обработка измерений

Результаты измерений нужно представить в виде графической зависимости числа прошедших полос от изменения давления.

В том, что сосуд F не имеет течи, легко убедиться, создав большую разность давлений и наблюдая, не смещаются ли с течением времени интерференционные полосы. Если оказывается, что число полос, прошедших при впуске воздуха, отличается от числа полос, прошедших при откачивании более чем на 1/2 полосы, то это значит, что либо в счете полос была допущена ошибка, либо за время измерений в сосуд проник воздух. В этом случае измерения надо произвести заново.

Если экспериментальные точки ложатся близко к прямой, проходящей через начало координат, то это докажет правильность закона в форме уравнения 6.

Проведя прямую, проходящую наиболее близко ко всем экспериментальным точкам, следует продолжить ее до $P = 760$ мм. и определить число N_0 — число полос, соответствующих изменению давления на одну нормальную атмосферу.

Подставив N_0 в формулу 8 и положив $\lambda = 546,1$ нм, и $L = 25$ см., можно определить n_{760} .

Погрешность можно оценить по уравнению 7, используя два измерения, относящихся к наибольшей разности давлений и полагая, что ошибка при определении N не превышает двух полос, а погрешность при определении $P - P_0$ не превышает 2 мм. Не забудьте узнать атмосферное давление в момент измерения.

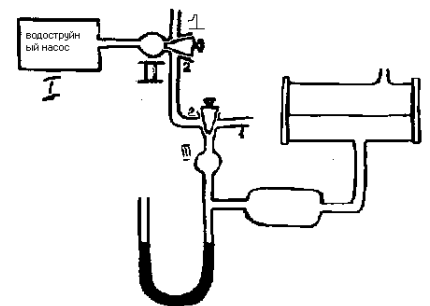


Рис. 14.

Литература

О. Д. Хвельсон "Курс физики" т. 2 /1911 г. н. Э стр. 546

Е. Кириллов "Интерференционный рефрактометр Жамена" Одесса 1913 г.

А. Рождественский "Труды ГОИ" вып.101 1935 г.

Требования, предъявляемые к отчету

Отчет должен содержать:

1. Оптическую схему установки.
2. Таблицу измерений N и $P - P_0$.
3. График зависимости числа прошедших полос от разности давлений, построенный по экспериментальным точкам и по методу наименьших квадратов.
4. Значение показателя преломления воздуха при нормальном атмосферном давлении с оценкой погрешности.
5. Оценку точности, с которой на данной установке можно измерять:
 - а) число полос;
 - б) разность давлений.