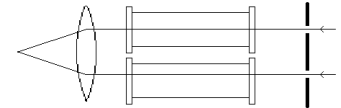


## V. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА: ИЗМЕРЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ГАЗОВ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРФЕРОМЕТРА РЕЛЕЯ

### Принцип работы интерферометра Релея

Метод измерения показателя преломления с помощью интерферометра Релея является развитием классического опыта по интерференции двух когерентных световых пучков, прошедших через две параллельные щели (опыт Юнга). Принципиальная схема прибора приведена на Рис. 22. Параллельный пучок лучей проходит через диафрагму с двумя прямоугольными отверстиями и собирается в фокальной плоскости линзы. Вследствие дифракции света на отверстиях диафрагмы в плоскости  $F$  создаётся система интерференционных полос, которая наблюдается с помощью сильного окуляра. Очевидно, что распределение интенсивности света в плоскости  $F$  описывается уравнением для дифракционной решётки с 2-мя щелями (см. например [1] стр. 253).



**Рис. 22.**

$$E(\theta) = \underbrace{\left( \frac{\sin \left( \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta \right)}{\frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta} \right)^2}_{F(\theta)} \underbrace{\cos^2 \left( \frac{2\pi}{\lambda} l \sin \theta \right)}_{f(\theta)} \quad (22)$$

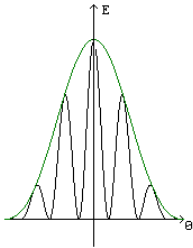
Здесь  $2d$  — ширина каждой щели,  $2l$  — расстояние между центрами щелей,  $\theta$  — угол наблюдения,  $\lambda$  — длина волны падающего света. Графический вид функции (22) представлен на Рис. 23 для случая, когда  $l = 3d$ .

В этом поле зрения наблюдается картина, которая изображена на Рис. 24.

Первый множитель в (22)  $F(\theta)$  описывает дифракцию на отдельном отверстии (огибающая на Рис. 23), второй  $f(\theta)$  — "быстроосциллирующий" — появляется из-за интерференции двух световых пучков. Рассмотрим как изменяется вид функции (22) при введении в параллельные пучки двух одинаковых газовых кювет, как это показано на Рис. 22. Пусть показатели преломления газов в кюветах отличаются на  $\delta n$ . Тогда множитель  $F(\theta)$  вообще не изменится, а  $f(\theta)$  примет вид:

$$f(\theta) = \cos^2 \left( \frac{2\pi}{\lambda} (\Delta n L - l \sin \theta) \right) \quad (23)$$

где  $L$  — длина кювет.



**Рис. 23.**

Видно, что максимумы  $f(\theta)$  будут наблюдаться при других значениях  $\theta$ , то есть введение дополнительной разности хода  $\delta nL$  приведёт к сдвигу интерференционной картины. При сдвиге картины на  $N$  полос

$$\Delta nL = N\lambda \tag{24}$$

Отсюда, измерив  $N$  можно определить  $\delta n$ . При освещении интерферометра светом другой длины волны, расстояние между соседними полосами изменится. Поэтому, при использовании источника сплошного спектра (лампы накаливания), картины, соответствующие разным  $\lambda$ , будут перекрываться и в поле зрения будет наблюдаться группа цветных полос с неокрашенной светлой полосой посередине. Эта белая полоса соответствует нулевой разности хода для всех волн. Наличие такой характерной точки на интерференционной картине весьма удобно, так как по её перемещениям можно однозначно судить о сдвиге всей интерференционной картины.

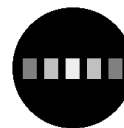


Рис. 24.

### Устройство интерферометра

Схема прибора приведена на Рис. 25 (а — вид сверху, б — вид сбоку). Пучок лучей от источника сплошного спектра (1) освещает узкую щель (2), расположенную в фокальной плоскости объектива (3). После объектива свет идёт параллельным пучком. От двойной щели (4), помещённой на пути параллельного пучка, в фокальной плоскости зрительной трубы образуются интерференционные полосы.

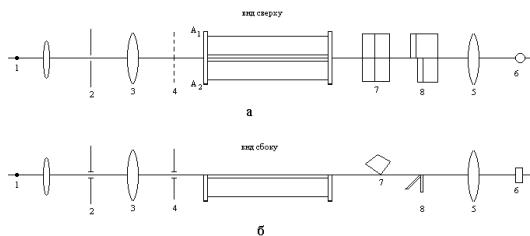


Рис. 25.

Полосы, образующиеся в фокальной плоскости объектива (5) очень тонки. Для того, чтобы их рассмотреть нужен окуляр с увеличением 150. Но если использовать сферический окуляр с таким увеличением, то яркость поля зрения уменьшится в  $150^2$  раз. Поэтому в данном приборе используется цилиндрическая линза (6), которая увеличивает только в одном направлении (перпендикулярно полосам). При этом мы теряем в яркости только в 150 раз.

На пути лучей между диафрагмой (4) и объективом (5) против отверстий  $A_1$  и  $A_2$  ставится двухкамерная кювета. Одна камера открыта на атмосферу, в другой камере давление меняется. Появление дополнительной оптической разности хода между лучами,

прошедшими через разные отверстия диафрагмы, возникшей вследствие различия показателей преломления воздуха в камерах, приводит к смещению наблюдаемой в окуляр картины. Измеряя величину смещения интерференционных полос, можно определить разность показателей преломления. Сдвиг картины мог бы быть в принципе зафиксирован путём одновременного наблюдения с помощью окуляра любого неподвижного указателя, помещённого в плоскости локализации интерференционной картины (например, креста нитей). Однако, практически выгодно пользоваться индикатором совсем другого типа. Именно, пользуясь тем, что щели  $A_1$  и  $A_2$  высоки, мы вводим газовые кюветы только в нижнюю часть световых пучков. Таким образом верхние части обоих световых пучков остаются всегда свободными и их разность хода неизменной. Следовательно, остаётся неподвижной и верхняя часть наблюдаемой картины, она и служит неподвижным индикатором.

Для того, чтобы сделать линию раздела двух рядов полос как можно тоньше, в пучок вводится призма (7), которая смещает неподвижный ряд полос на необходимое расстояние. Призма (7) изготовлена с высокой степенью точности, так, что она вносит одинаковую разность хода в оба пучка. Показатель преломления газа можно измерить следующим образом. Сначала откачать обе трубки, затем постепенно заполнить одну из них исследуемым газом, подсчитывая при этом число прошедших интерференционных полос.

Этот метод держит наблюдателя в постоянном напряжении, так как очень легко пропустить одну или несколько тонких интерференционных полос. Поэтому в данном приборе используется компенсационный метод: на пути нижних, проходящих через газовые кюветы световых пучков, устанавливаются две наклонные стеклянные пластинки (см. Рис. 26). Одна из пластинок неподвижна, а вторая может вращаться вокруг горизонтальной оси, изменяя свой наклон по отношению к проходящему сквозь неё световому пучку. При этом меняется толщина проходимого слоя стекла, следовательно и оптическая разность хода лучей, прошедших через газовые кюветы.

### Определение показателя преломления воздуха в зависимости от давления

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

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = \alpha\rho \tag{25}$$

где  $\rho$  — плотность вещества, а  $\alpha$  — постоянная, различная для разных веществ.

Для газов, когда  $n$  очень близко к единице, эту формулу удобнее переписать так:

$$n - 1 = \frac{n^2 + 2}{n + 1} \alpha\rho \tag{26}$$

А так как  $\rho$  пропорционально давлению  $P$ , то с достаточно большой точностью можно написать:

$$n = 1 + \beta P \quad (27)$$

где  $\beta$  — новая постоянная величина. Изменяя давление в одной из кювет и компенсируя получающийся при этом сдвиг картины, находят при помощи градуировочного графика соответствующие разности хода  $\delta$ . Зная  $\delta$ , можно по формуле (24) найти  $\Delta n$  и таким образом проверить закон Лоренц-Лорентца в форме (27).

### Описание установки и порядок измерений

Внешний вид установки представлен на Рис. 26.

1. источник сплошного спектра;
2. коллиматор;
3. диафрагма с прямоугольными вырезами;
4. кювета;
5. компенсатор;
6. призма;
7. зрительная труба;
8. барабанчик компенсатора;
9. масляный манометр;
10. сиффон.

Изменение давления в одной из кювет производится с помощью газового резервуара переменного объёма (сиффона), представляющего собой гофрированную трубу из тонкой латуни.

1. кювета интерферометра, в которой меняется давление воздуха.
2. масляный манометр. Одно из колен которого открыто на атмосферу так, что он показывает разность давлений в кюветах ( $p - p_0$ ). Во второй кювете интерферометра всегда атмосферное давление.
3. газовый резервуар переменного объёма.

Измерения следует проводить следующим образом:

1. Выровнять давление в кюветах (по масляному фильтру).
2. Вращая компенсатор, совместить порядки на верхней и нижней частях интерференционной картины.
3. Повышая давление в рабочей кювете, добиться смещения картины на одну полосу.
4. Записать показания манометра.
5. Компенсатором вернуть картину в исходное положение.
6. Повторить пункты 3–5 необходимое число раз (около 10, пока хватит манометра), записывая каждый раз давление.

При каждом цикле измерений (пункты 3–5) разность хода в кюветах увеличивается на одну длину волны. Если бы компенсатора не было, картина каждый раз смещалась бы на 1 полосу. Компенсатором картина возвращается обратно для удобства наблюдений (наблюдения наиболее ярких полос). Длину волны принять равной 5461 ангстрем (зелёная линия ртути). Длина кюветы  $l = 1$  м.

Результаты измерений следует представить в виде графика зависимости разности хода от изменения давления.

Если экспериментальные точки ложатся близко к прямой, то это докажет правильность закона в форме уравнения (27).

Погрешность определения разности хода должна быть указана на графике. Погрешность определения ( $P - P_0$ ) не превышает 2 мм.

В данной работе используется масляный манометр как более точный по сравнению со ртутным (масло примерно в 14 раз легче ртути). Масло — очень вязкая жидкость, поэтому показания манометра можно снимать только после того, как уровень масла установится.

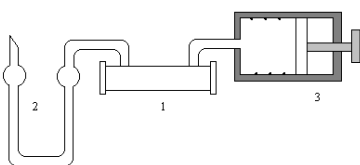


Рис. 26.

## §5 Требования, предъявляемые к отчёту

Отчёт должен содержать:

1. Оптическую схему установки с указанием хода лучей.
2. Таблицу измерений  $\kappa$  (отсчёт по барабану) и  $(P - P_0)$ .
3. График зависимости  $\Delta n$  от разности давлений в кюветах  $(P - P_0)$ , построенный по экспериментальным точкам и по методу наименьших квадратов.
4. Оценка точности, с которой на данной установке можно измерять  $\Delta n$  и  $\Delta P$ .

## Литература

1. Р. Дитчберн «Физическая оптика» глава 2 §§21–28.
2. «Физический практикум» — под ред. Ивероковой.
3. Ландсберг «Оптика».