

Р а б о т а № 33

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРФЕРОМЕТРА ЖАМЕНА

Цель работы – исследование влияния изменения атмосферного давления на его показатель преломления; определение поляризуемости молекул воздуха, оценка размера молекулярного диполя.

Описание интерференционного метода исследования оптических свойств воздуха

Для измерения изменения показателя преломления при изменении давления газа удобно воспользоваться интерферометром Жамена. Интерферометр Жамена состоит из двух толстых плоскокараллельных стеклянных пластин одинаковой толщины (рис. 1). На пластину Π_1 падает световой пучок от гелий-неонового лазера, генерирующего монохроматическое излучение с длиной волны $\lambda = 0,6328$ мкм, соответствующей красному цвету. Для простоты будем считать этот пучок параллельным.

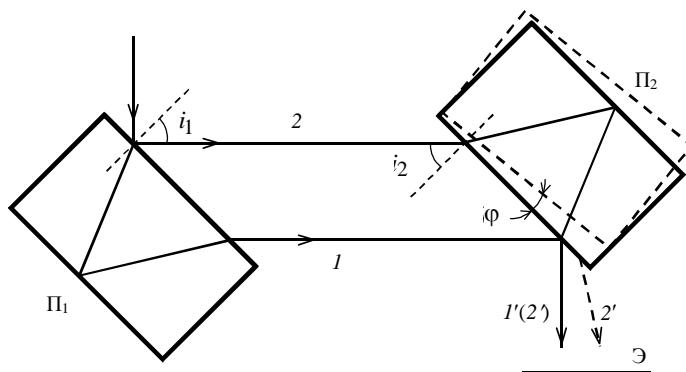


Рис. 1

Если пластины Π_1 и Π_2 строго параллельны, то лучи 1 и 2 падают на пластину Π_2 под тем же углом, что и исходный луч на пластинку Π_1 ($i_1 = i_2$). На выходе из Π_2 лучи 1' и 2' совпадают. Равны и оптические пути лучей в интерферометре, т.е. разность хода лучей равна нулю. Тогда на экране, установленном в пучке 1', 2' после интерферометра, наблюдается светлое пятно.

Однако для удобства интерференционных измерений интерферометр немного разъюстируют: поворачивают пластину Π_2 по отношению к пластине Π_1 на малый угол φ относительно оси, перпендикулярной к плоскости падения входного луча. В этом случае на выходе из интерферометра накладываются два скрещенных пучка. На экране наблюдаются чередующиеся прямые светлые и темные полосы. Период интерференционной картины зависит от угла φ между направлениями пучков 1', 2' (штриховая линия).

Чтобы измерить изменение показателя преломления, на пути лучей между пластинами интерферометра устанавливают камеру с отдельными каналами для каждого из лучей. Схема камеры показана на рис. 2. Здесь 1 – корпус камеры; 2 – стеклянные окна; 3 – отверстие, соединяющее один из каналов с атмосферой; 4 – шланг к источнику дополнительного давления.

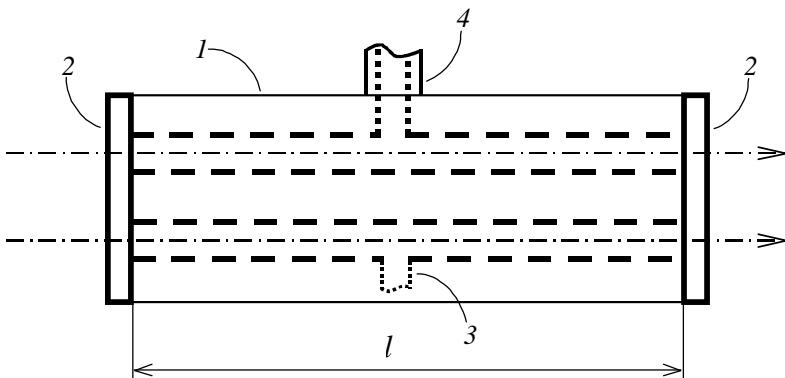


Рис. 2

При изменении давления в одном из каналов изменяется показатель преломления воздуха. Это приводит к дополнительной разности хода между интерферирующими лучами

$$\Delta_{\text{доп}} = (n - n_0)l = \Delta n l, \quad (1)$$

где n_0 – показатель преломления воздуха в канале, соединенном с атмосферой; n – показатель преломления воздуха в канале с изменяющимся давлением; l – длина канала.

Дополнительная разность хода приводит к смещению интерференционных полос. Число полос, на которое смещается интерференционная картина, определяется формулой

$$m = \Delta n \frac{l}{\lambda}. \quad (2)$$

Следовательно, зная l и λ и подсчитав, на какое число полос сместилась интерференционная картина, можно найти изменение показателя преломления:

$$\Delta n = m \frac{\lambda}{l}.$$

(3)

Соответствующее изменение давления ΔP измеряется манометром. Интерференционная картина наблюдается на экране.

Измерение поляризуемости молекул воздуха

Из курса электричества известна связь электрической индукции \mathbf{D} , напряженности электрического поля \mathbf{E} и поляризованности ρ :

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \rho, \quad (4)$$

где поляризованность ρ , т.е. дипольный момент единицы объема диэлектрика, является суммой дипольных моментов отдельных молекул

$$\rho = N \mathbf{p}, \quad (5)$$

где N – объемная концентрация молекул. (Здесь концентрация обозначена заглавной буквой N , чтобы ее отличить от показателя преломления среды n .)

Вектор поляризованности изотропной среды совпадает по направлению с вектором напряженности

$$\phi = \epsilon_0 \chi E, \quad (6)$$

где χ – диэлектрическая восприимчивость вещества. Из (4), (6) получаем связь относительной диэлектрической проницаемости ϵ и восприимчивости среды с поляризуемостью молекулы β :

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 E + \epsilon_0 \chi E = \epsilon_0 (1 + \chi) E = \epsilon_0 \epsilon E, \quad \epsilon = 1 + \chi = 1 + N\beta. \quad (7)$$

Из теории электромагнитных волн известно, что показатель преломления вещества связан с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ и магнитной проницаемостью μ соотношением

$$n^2 = \epsilon \mu. \quad (8)$$

Поскольку для воздуха $\epsilon - 1 = 6 \cdot 10^{-4}$, а $\mu - 1 = 6 \cdot 10^{-7}$ [3], можно считать, что

$$n^2 = \epsilon. \quad (9)$$

Тогда

$$n^2 = 1 + \beta N. \quad (10)$$

Продифференцировав выражение (10), получим

$$2n \ dn = \beta dN, \quad (11)$$

откуда

$$dn = \frac{\beta}{2n} dN. \quad (12)$$

Следовательно, при небольших изменениях показателя преломления это изменение пропорционально изменению числа частиц в единице объема dN . Формулу (12) запишем в виде

$$\Delta n = \frac{\beta}{2n_0} \Delta N, \quad (13)$$

где n_0 – начальное значение показателя преломления. Если диэлектриком является газ, то в приближении идеального газа

$$P = N k T, \quad (14)$$

где P – давление газа; k – постоянная Больцмана; T – температура. Из последнего выражения следует, что при постоянной температуре

$$\Delta N = \frac{\Delta P}{k T}. \quad (15)$$

Подставив это выражение в (13), получим

$$\Delta n = \frac{\beta}{2n_0 k T} \Delta P. \quad (16)$$

Таким образом, изменение показателя преломления Δn пропорционально изменению давления ΔP . Исследовав экспериментально зависимость Δn от ΔP , можно найти поляризуемость молекулы β . Из выражения (16) следует, что

$$\beta = 2n_0 k T \frac{\Delta n}{\Delta P}. \quad (17)$$

Учитывая, что для газов при нормальном давлении n_0 мало отличается от единицы, получим окончательную формулу

$$\boxed{\beta = 2kT \frac{\Delta n}{\Delta P}}. \quad (18)$$

Следует заметить, что если исследуемый газ – это воздух, состоящий из смеси газов, то найденное значение β будет некоторым усредненным значением для данной смеси.

Задания

1. Получить интерференционную картину на экране при атмосферном давлении воздуха в исследуемом объеме.

2. Изменяя давление воздуха и наблюдая смещение интерференционных полос на экране, измерить значения избыточного давления ΔP при значениях $m = 5; 10; 15; 20; 25; 30$.

- 3.** По формуле (3) рассчитать Δn , соответствующее каждому значению m .
- 4.** Построить график зависимости Δn от ΔP . Найти усредненное значение $\Delta n/\Delta P$ как угловой коэффициент наклона экспериментальной кривой.
- 5.** По формуле (17) рассчитать поляризумость молекул воздуха.

Контрольные вопросы

- 1.** Нарисовать ход лучей в интерферометре Жамена. Между какими лучами наблюдается интерференция?
- 2.** Как выглядит интерференционная картина при идеальной настройке интерферометра? При разьюстировке?
- 3.** Какое давление показывает манометр?
- 4.** Как по смещению интерференционной картины определить изменение показателя преломления? Вывести формулу (3).
- 5.** Какие предположения приняты при выводе формулы (17)? Вывести эту формулу.

Литература

- 1.** Савельев И.В. Курс общей физики. В 5 кн. Кн. 2. – М.: Астрель, 2001 (§ 2.1, 2.2).
- 2.** Трофимова Т.И. Курс физики. 4-е изд. – М.: Высш. шк. 1997 (§ 180)
- 3.** Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. – М.: Наука.