

# Корнеев Николай Б04-005, Лабораторная работа № 4.2.3

## Интерферометр Релея

### Цель работы:

1. Ознакомиться:
  - с интерференцией на двух щелях
  - устройством и принципом действия интерферометра Релея
  - с его применением для измерения показателей преломления газов
2. Исследовать изменение показателя преломления воздуха при изменении давления
3. Рассчитать показатели преломления воздуха и углекислого газа при нормальных условиях

### Оборудование:

1. Технический интерферометр ИТР-1
2. Светофильтр
3. Баллон с  $CO_2$
4. Сильфон
5. Манометр
6. Краны

### Теоретическая справка:

1. Интерференцией называют взаимное увеличение или уменьшение результирующей амплитуды двух или нескольких когерентных волн при их наложении друг на друга. В работе мы используем двухлучевой интерферометр.
2. Волновые или колебательные процессы называются когерентными, если они протекают согласованно во времени и пространстве: их разность фаз не изменяется во времени.

#### 3. Описание установки:

Интерферометр Релея основан на явлении дифракции света на двух параллельных щелях. Лампа накаливания Л с помощью конденсора К ярко освещает узкую входную щель S, расположенную в фокусе объектива  $O_1$ .

Коллиматор, состоящий из щели S и объектива  $O_1$ , посылает параллельный пучок на диафрагму D с двумя вертикальными щелями (расстояние между щелями d). Свет после двойной щели проходит кювету L, состоящую из двух одинаковых стеклянных камер, в которые вводятся исследуемые газы. Кювета занимает только верхнюю часть пространства между объективами  $O_1$  и  $O_2$ , длина кюветы  $l = 25$  см. За кюветой расположены две стеклянные пластинки J и пластинка П.

Интерференционная картина (картина дифракции на двух щелях), наблюдаемая в фокальной плоскости F объектива  $O_2$ , представляет собой две системы равноотстоящих полос, параллельных щелям: верхняя образована лучами, прошедшими через кювету, нижняя (неподвижная) — лучами, прошедшими под

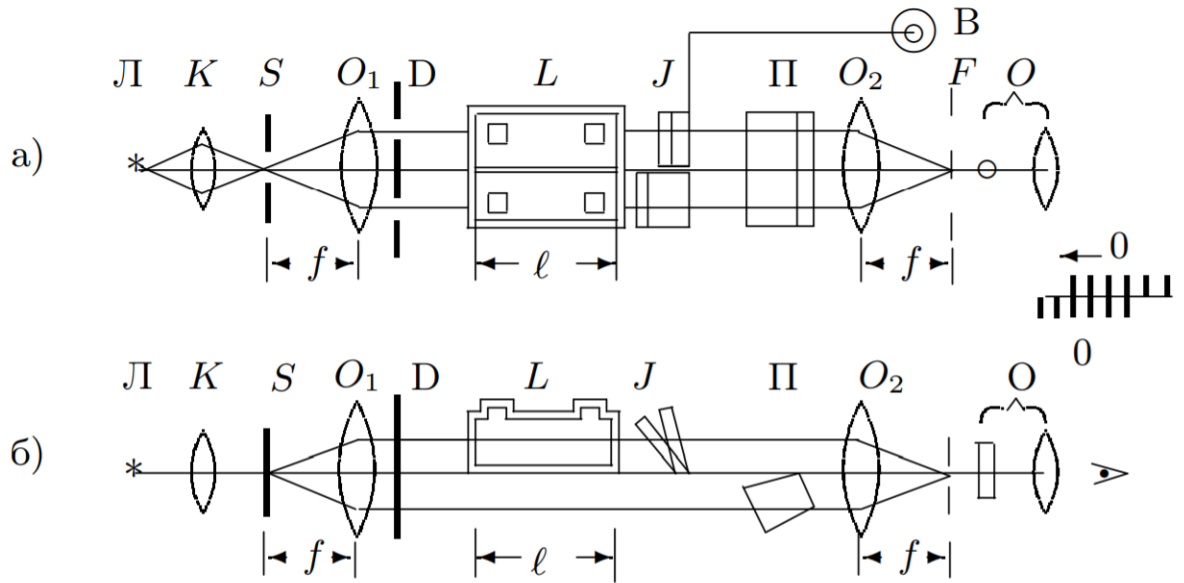


Рис. 1: Схема установки а) сверху б) сбоку

кюветой. В установке есть компенсатор Жамена. Данное устройство помогает совместить подвижную и неподвижную системы полос.

4. При малых дифракционных углах  $\phi = \lambda/d$  расстояние между соседними светлыми полосами

$$\delta y = f \frac{\lambda}{d} \quad (1)$$

$$\delta n = k \frac{\lambda}{l} \quad (2)$$

5. Показатель преломления  $n$  исследуемого газа определяется путем сравнения с воздухом при атмосферном давлении

$$n = n_{\text{возд}} + \frac{\Delta}{l} \quad (3)$$

6. Зависимость показателя преломления газа от давления и температуры  
Диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  газа невзаимодействующих диполей считается по формуле:

$$\epsilon = n^2 = 1 + N\alpha \quad (4)$$

где  $N$  - концентрация молекул в газе,  $\alpha$  - поляризуемость молекулы. Для разреженных газов справедливо приближение:

$$n - 1 \approx \frac{\alpha}{2kT} P$$

Тогда для разности показателей преломления  $\delta n$  измеряемой с помощью интерферометра Релея и разности давления  $\Delta P$ , измеряемой с помощью манометра, имеем соотношения

$$\delta n = \frac{\alpha}{2kT} P \quad \frac{dn}{dP} = \frac{\alpha}{2kT} \quad (5)$$

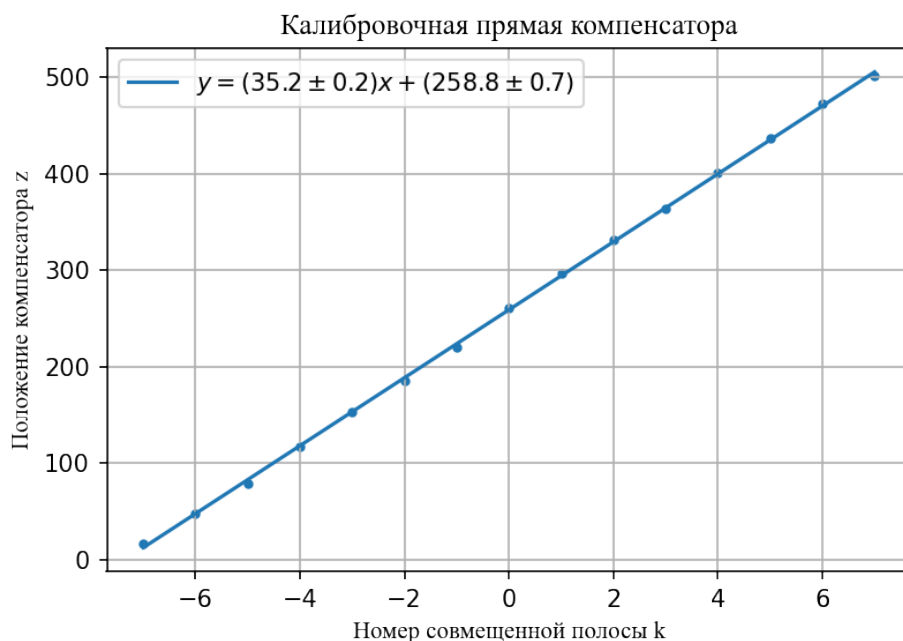
## Ход работы:

### 1. Параметры установки:

- (а) Длина кюветы  $l = 25$  см
- (б) Длина волны, пропускаемая фильтром  $\lambda = 670 \pm 50$  нм
- (с) Температура окружающей среды  $T = 296$  К
- (д) Атмосферное давление  $P = 99.6$  кПа

### 2. Калибровка

Прокалибруем компенсатор в единицах  $\lambda$ , выделив узкий интервал длин волн с



помощью светофильтра. При калибровке используем все полосы, наблюдаемые в окуляре слева и справа от нулевой полосы

**Построим график зависимости  $k(z)$ , пользуясь методом наименьших квадратов  $y = a + bx$**

$$b = \frac{\langle xy \rangle - \langle x \rangle \langle y \rangle}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} \quad a = \langle y \rangle - b \cdot \langle x \rangle \quad (6)$$

Погрешность в этом случае можно найти по формуле:

$$\sigma_b \approx \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{\frac{\langle y^2 \rangle - \langle y \rangle^2}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} - b^2}; \quad \sigma_a \approx \sigma_b \sqrt{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} \quad (7)$$

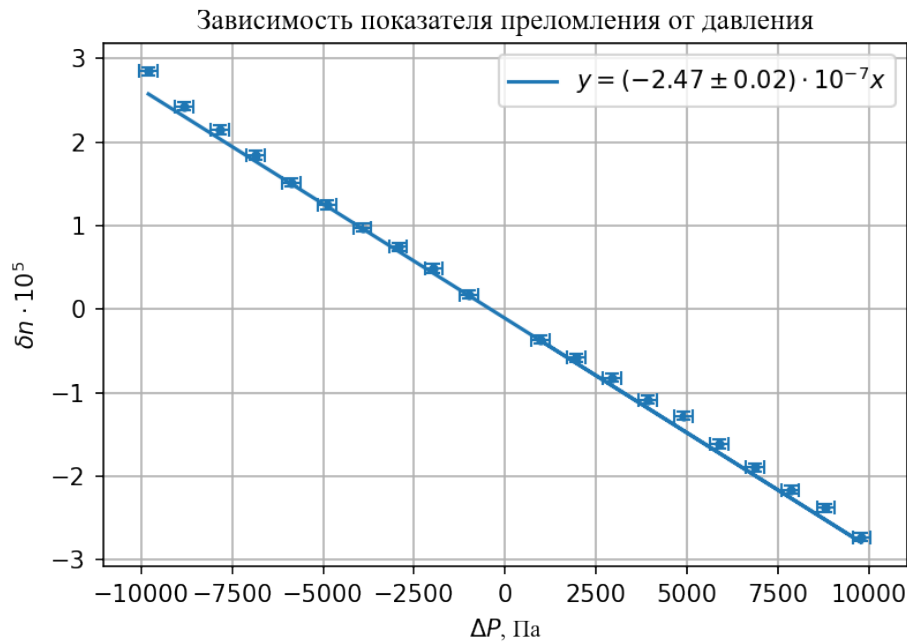
Тогда коэффициенты  $a$  и  $b$  равны:

$$b = 35.2 \pm 0.2 \quad a = 258.8 \pm 0.7$$

### 3. Зависимость $\Delta n(P)$ для воздуха

В одной из кювет находится воздух при атмосферном давлении, в другой –

под давлением. Будем менять давление в пределах от -1000 до 1000 мм вод ст и смещать центральные полосы для каждого значения давлений, в процессе фиксируя положение компенсатора, соответствующее значению давления. Далее, исходя из калибровочного графика рассчитаем разность хода, и по формуле (2) найдем соответствующую величину  $\delta n$ . Все измеренные и полученные величины занесем в таблицу и по данным построим график зависимости  $\Delta n(P)$  для воздуха. На график нанесем кресты погрешностей: Погрешность измерения



показателя преломления зависит от погрешности совмещенной полосы  $k$

Тогда по формуле (2) получим погрешность для  $\delta n = 5 \cdot 10^{-9}$

Погрешность давления  $\Delta P = 250$  Па возникает из-за того, что давление "плывет" и его необходимо поддерживать самостоятельно

Рассчитаем систематическую погрешность:

$$\varepsilon_{\text{сист}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \Delta P}{\Delta P}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \delta n}{\delta n}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{250}{10000}\right)^2 + \left(\frac{0.5}{25}\right)^2} = 3.2\%$$

Тогда коэффициент наклона графика:  $(2.47 \pm 0.12) \cdot 10^{-9}$

4. Рассчитаем среднюю поляризацию молекул воздуха по формуле (5)

$$\alpha = 2kT \frac{\delta n}{\Delta P} = 2 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 296 \cdot 2.5 \cdot 10^{-9} = (2.0 \pm 0.1) \cdot 10^{-29} \text{ Кл м}$$

Найдем коэффициент преломления воздуха:

$$n = \sqrt{1 + N\alpha} = \sqrt{1 + 2P \frac{\delta n}{\Delta P}} \approx 1 + P \frac{\delta n}{\Delta P} = 1 + 10^5 \cdot 2.5 \cdot 10^{-9} = 1.00025 \pm 0.00001$$

Получим весьма близкое к табличному значение для коэффициента преломления воздуха

5. **Показатель преломления  $\text{CO}_2$**  В одной из кювет будет находиться воздух при атмосферном давлении, в другой – углекислый газ под атмосферным давлением. Сначала будем просто напускать газ и следить за смещением интерференционной картины, а когда она перестанет смещаться, зафиксируем положение компенсатора. Далее пронаблюдаем за смещением спектральной картины, фиксируя положение компенсатора и момент времени с остановки напуска углекислого газа. По формуле (2) также найдем  $\delta n$ . По начальному положению компенсатора вычислим показатель преломления углекислого газа.

$$n_{\text{CO}_2} = n_{\text{возд}} + \delta n = 1.00025 + 0.00016 = 1.00041$$

Тогда погрешность суммы:

$$\sigma n_{\text{CO}_2} = \sqrt{0.00001^2 + 0.0000027^2} \approx 0.00001$$

Тогда:

$$n_{\text{CO}_2} = 1.00041 \pm 0.00001$$

6. **Диапазон измерений интерферометра** Диапазон допустимых для измерения интервалов коэффициента преломления снизу ограничен погрешностью  $\delta n = 2.8 \cdot 10^{-6}$ , а сверху – порядком  $\delta n = 10^{-4}$

### Выводы:

1. Ознакомились с принципом работы с интерференцией на двух щелях на примере установки Релея
2. Установили линейную природу изменения показателя преломления воздуха при изменении давления (см график 2)
3. Получили значения показателя преломления для воздуха и углекислого газа:

$$\delta n_{\text{возд}} = 1.00025 \pm 0.00001 \quad \delta n_{\text{CO}_2} = 1.00041 \pm 0.00001$$

При табличных значениях:

$$\delta n_{\text{возд}} = 1,00029 \quad \delta n_{\text{CO}_2} = 1,00045$$

4. Нашли среднюю поляризацию воздуха  $\alpha = (2.0 \pm 0.1) \cdot 10^{-29}$  Кл м
5. Оценили диапазон измерений интерферометра Релея