

# Задача 4. 2. 2

## Интерферометр Жамена

Лось Денис (группа 611)

20 мая 2018

**Цель работы:** знакомство с техникой интерференционных измерений показателей преломления газов с помощью интерферометра Жамена, настройка и калибровка интерферометра, исследование смещения интерференционных полос при изменении давления воздуха в одной из камер, при заполнении одной из камер углекислым газом при атмосферном давлении, расчёт показателей преломления воздуха и углекислого газа при нормальных условиях и средней поляризуемости воздуха.

**В работе используются:** интерферометр Жамена, газовая кювета, осветитель, зрительная труба, сильфон, баллон с углекислым газом, манометр, краны, свето-фильтр.

### Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1.

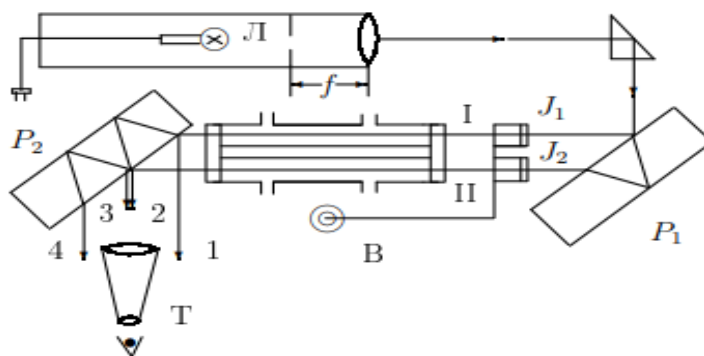


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

В интерферометре свет от лампы накаливания  $L$  проходит коллиматорный объектив, поворотную призму и слегка расходящимся пучком падает на пластинку  $P_1$  под углом  $45^\circ$  к ней. Пластины  $P_1$  и  $P_2$  закреплены на панели, ниже которой имеются два установочных винта.

Между пластинами на пути лучей I и II расположена кювета длины  $l$ , состоящая из двух одинаковых камер, закрытых с торцов плоскопараллельными стеклянными пластинками.

В одну из камер вводится исследуемый газ, а вторая заполнена воздухом при атмосферном давлении. При этом разность хода  $\Delta$ , вызванная разностью показателей преломления газом  $\delta n$  приводит к сдвигу интерференционных полос:

$$\Delta = \delta n \cdot l.$$

Сдвиг на одну полосу соответствует дополнительной разности хода  $\Delta = \lambda$ . Определив число полос  $m$ , на которое сместилась картина, можно рассчитать

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

На пути I и II расположен компенсатор Жамена, состоящий из двух одинаковых плоскопараллельных стеклянных пластинок  $J_1$  и  $J_2$ . Если обе пластинки установлены под одинаковым углом к лучам, то и оптическая длина пути для них для обоих лучей оказывается одинаковой. Поворот одной из пластинок вокруг горизонтальной оси вызывает увеличение или уменьшение оптической длины пути соответствующего луча. Это позволяет скомпенсировать разность хода, возникающую в камерах. Для точного отсчёта поворота одна из пластинок снабжена рычагом, конец которого смещается при помощи микрометрического винта В. Пластины компенсатора ставятся под углом  $45^\circ$  к горизонтали, что позволяет использовать линейную экстраполяцию при измерениях. Смещение полос можно наблюдать через трубу Т.

Интерферометр Жамена можно применять для измерения небольших изменений преломления жидкостей или газов, а также для определения примесей различных газов в воздухе.

Показатель преломления исследуемого газа определяется путём сравнения с воздухом при атмосферном давлении:

$$n = n_{\text{возд}} + \frac{\Delta}{l}$$

Для определения величины  $\Delta$  компенсатор следует прокалибровать.

## Теоритическая часть: зависимость показателя преломления газа от давления и температуры

Соотношение между показателем преломления газа и его плотностью:

$$n = \sqrt{\varepsilon} = \sqrt{1 + 4\pi N\alpha} \approx 1 + 2\pi N\alpha, \quad (1)$$

где  $N$  — число молекул в единице объёма,  $\alpha$  — поляризуемость молекулы.

Принимая во внимание соотношение  $P = Nk_6T$ , где  $P$  — давление в газе, получим

$$n - 1 = 2\pi\alpha \frac{P}{k_6T}$$

Отсюда следует, что при постоянной температуре изменение показателя преломления  $\Delta n$  пропорционально изменению давления  $\Delta P$ :

$$\delta n = \frac{2\pi\alpha}{k_0 T} \Delta P \quad (\text{СГС})$$

Величина  $\delta n$  измеряется с помощью интерферометра Жамена,  $\Delta P$  — с помощью манометра. Одновременно измерение этих величин (и температуры  $T$ ) позволяет определить поляризуемость молекул воздуха и, следовательно, рассчитать, показатель преломления воздуха при любых значениях  $P$  и  $T$ . Так как воздух является смесью газов, то под поляризуемостью молекул воздуха нужно понимать некоторую среднюю величину, определяемую соотношением

$$\alpha = \frac{1}{N} \sum_i \alpha_i N_i$$

Установим связь показателя преломления газа  $n$  при температуре  $T$  и давлении  $P$  с показателем преломления  $n_0$  при нормальных условиях ( $T_0 = 273 \text{ К}$ ,  $P_0 = 1 \text{ атм}$ ):

$$\frac{n_0 - 1}{n - 1} = \frac{T}{T_0} \frac{P_0}{P}$$

## Параметры экспериментальной установки

Длина кюветы  $l = 10 \text{ см}$ . Полоса пропускания светофильтра  $\lambda = 630 : 670 \text{ нм}$ , длина волны  $\lambda_0 = 650 \text{ нм}$ . Давление в помещении  $P = (100700 \pm 100) \text{ Па}$ , температура  $T = (25.6 \pm 0.2) ^\circ\text{C}$ .

# Калибровка компенсатора и построение калибровочного графика

Приведём результаты отсчёта по компенсатору  $z_m$  от номера освещённой полосы  $m$ .

| $m$ | $z_m$ , мм |
|-----|------------|
| -4  | 15.18      |
| -3  | 15.23      |
| -2  | 15.28      |
| -1  | 15.34      |
| 0   | 15.38      |
| 1   | 15.42      |
| 2   | 15.48      |
| 3   | 15.54      |
| 4   | 15.60      |
| 5   | 15.65      |
| 6   | 15.70      |
| 7   | 15.76      |

Построим калибровочный график  $z = f(m)$ .

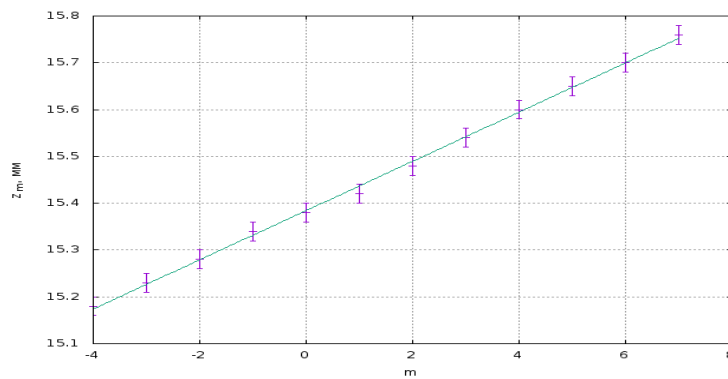


Рис. 2: График зависимости  $z = f(m)$

Коэффициент наклона графика

$$\beta = (0.0526 \pm 0.0007) \text{ мм}$$

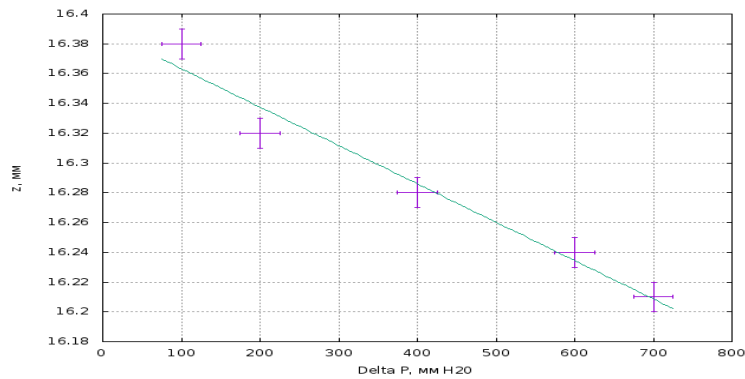
Тогда разность хода  $\Delta$

$$\Delta = \frac{z}{\beta} \lambda_0$$

# Определение показателя преломления воздуха в условиях опыта и средней поляризуемости молекулы воздуха

Изменяя давление с помощью сильфона и совмещая нулевую полосу с перекрестием, снимем зависимость показаний компенсатора  $z$  от перепада давлений  $\Delta P$ . Построим график  $z = f(\Delta P)$

| $z$ , мм | $\Delta P$ , мм H <sub>2</sub> O |
|----------|----------------------------------|
| 16.38    | 100                              |
| 16.32    | 200                              |
| 16.28    | 400                              |
| 16.24    | 600                              |
| 16.21    | 700                              |



Коэффициент наклона графика

$$\gamma = (26 \pm 3) \cdot 10^{-5} \frac{\text{мм}}{\text{мм H}_2\text{O}}$$

В итоге

$$\gamma = \frac{2\pi\alpha}{k_6 T} \frac{\beta l}{\lambda_0}$$

Рассчитаем среднюю поляризуемость молекулы воздуха  $\alpha$

$$\alpha = \frac{k_6 T}{2\pi} \frac{\lambda_0 \gamma}{\beta l}$$

Средняя поляризуемость молекулы воздуха

$$\alpha = (2.15 \pm 0.12) \cdot 10^{-30}$$

Показатель преломления воздуха (в условиях опыта)

$$n = (1.00 \pm 0.06)$$

Показатель преломления воздуха (в нормальных условиях)(из-за погрешности не видим разницу)

$$n = (1.00 \pm 0.06)$$

## Оценка радиуса молекулы азота

$$\alpha \approx r^3$$

где  $r$  — радиус молекулы азота, а значит,

$$r \approx 0.13 \text{ нм}$$

Тогда как табличное значение  $r = 0.16 \text{ нм}$ .

## Определение показателя преломления углекислого газа

В результате измерений мы получаем отличие от показателя преломления воздуха на 0.00008, однако погрешность, с которой мы определили показатель преломления воздуха, не позволяет нам точно определить значение показателя преломления углекислого газа.

## Выводы

В результате работы мы определили среднюю поляризуемость молекулы воздуха, а также показатель преломления воздуха в условиях опыта, а также при нормальных условиях. Однако последующей обработке результатов мешает тот факт, что в ходе исследования зависимости показаний компенсатора от перепада давлений, были получены значения, которые плохо экстраполируются графиком линейной функции. Именно из-за этого определить точно показатель преломления углекислого газа не представляется возможным (т.е. получить отличие от показателя преломления воздуха). Однако в ходе работы мы познакомились с устройством интерферометра Жамена, а также смогли провести оценку радиуса молекулы азота.