

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Интерферометр Жамена

выполнила студентка 653 группы ФФКЭ

Карпова Татьяна

Долгопрудный, 2018 г.

1 Цель работы

Знакомство с техникой интерференционных измерений показателей преломления газов с помощью интерферометра Жамена

2 В работе используются:

- интерферометр Жамена
- газовая кювета
- осветитель
- зрительная труда
- сильфон
- баллон с углекислым газом
- манометр
- краны
- светофильтр

3 Теоретические положения

В одну из камер вводится исследуемый газ, а вторая заполнена воздухом при атмосферном давлении. При этом разность хода, вызванная Δ , вызванная разностью показателей преломления газов δn , приводит к сдвигу интерференционных полос:

$$\Delta = \delta n l \Rightarrow \delta n = m \frac{\lambda}{l}, \quad (1)$$

так как сдвиг на одну полосу соответствует дополнительной разности хода $\Delta = \lambda$

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

$$n = n_0 + \frac{\Delta}{l} \quad (2)$$

4 Схема установки

Принципиальная схема интерферометра Жамена показана на рис. 1

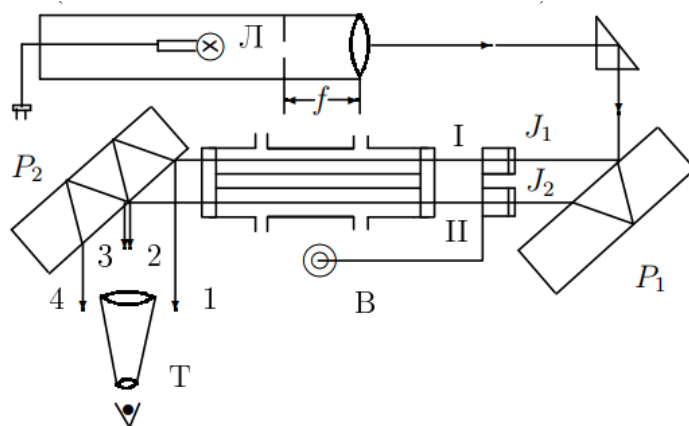


Рис. 1: Интерферометр Жамена

5 Ход работы

1. Ознакомимся с принципом работы установки. Проведём юстировку и калибровку прибора. Для калибровки наденем на окуляр красный светофильтр и снимем зависимость показаний микрометрической шкалы компенсатора Жамена от порядкового номера интерференционного максимума. Результаты измерений занесём в таблицу 1 и графически представим на рис. 2

Таблица 1: Калибровка компенсатора

m	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$z, \mu m$	-10	-4	3.5	10	16	22	29	35	42	48.5	54.5	62	68	75	81	88	94.5

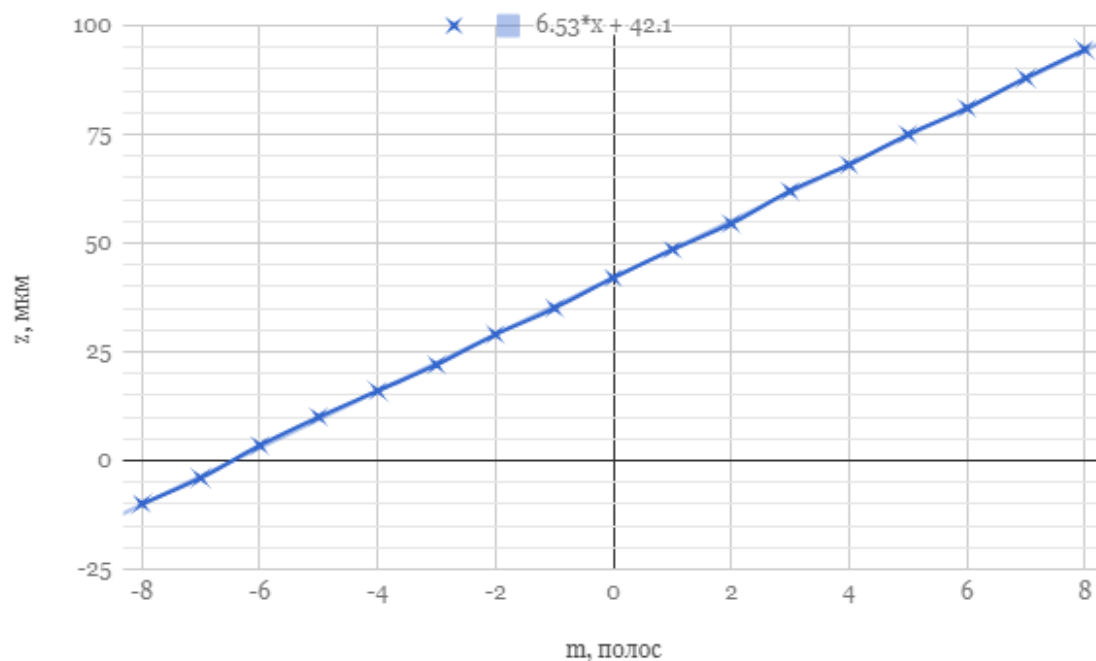


Рис. 2: График калибровки компенсатора

При этом длина кюветы $l = 10$ см, а длина волны, пропускаемая светофильтром $\lambda = 650$ нм.

2. По формуле (2) перейдём от делений компенсатора к величине δn

$$\delta n = m \frac{\lambda}{l}, \quad (3)$$

при этом по рис. 2 $\Delta m = \frac{\Delta z}{\tan \varphi}$, где $\tan \varphi = 6.53$ - угол наклона калибровочного графика. Тогда окончательно

$$\delta n = \frac{\Delta z}{\tan \varphi} \frac{\lambda}{l} = 10^{-6} \Delta z \quad (4)$$

3. Изменяя давление с помощью сильфона, снимем зависимость показаний компенсатора z от перепада давлений ΔP . Результаты занесём в таблицу 2.

Таблица 2: Зависимость показаний микрометра от давления

$P, \text{кПа}$	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-6.5
$z, \mu m$	69	65.5	63	59.5	57	53.5	51	47	45.5	42	39	36	33	29.5	28

Угол наклона графика $\tan \theta = 3 \cdot 10^{-3}$

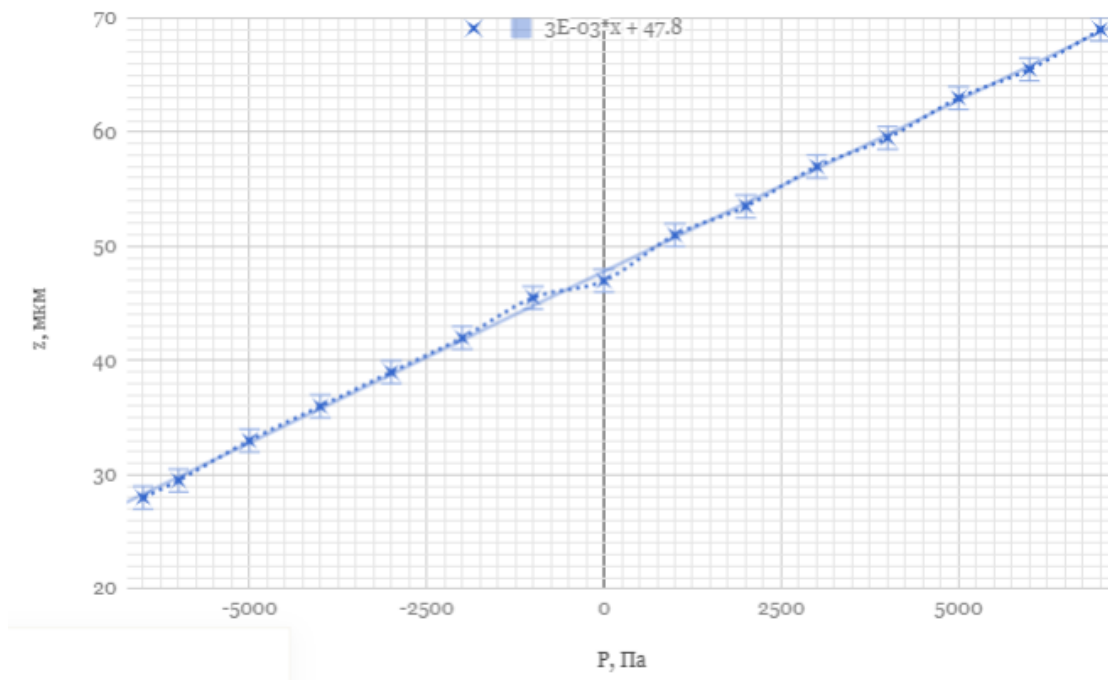


Рис. 3: Зависимость показаний микрометра от давления

4. Определим среднюю поляризуемость молекулы воздуха:

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

$$\alpha = \frac{\delta n k T}{2\pi \Delta P} = \frac{\Delta z \lambda}{\tan \varphi l} \frac{k T}{2\pi \Delta P} = \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \frac{\lambda k T}{2\pi l \Delta P} = 193 * 10^{-32} \quad (6)$$

Табличное значение составляет $\alpha = 172 * 10^{-32}$

Погрешность измерения определим по стандартной формуле (умножение величин), погрешность измерения углов наклона определим методом наименьших квадратов.

$$\sigma_{\alpha} = \alpha \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\tan \theta}}{\tan \theta}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\tan \varphi}}{\tan \varphi}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_T}{T}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\Delta P}}{\Delta P}\right)^2} = 10 \quad \varepsilon = 5.3\% \quad (7)$$

5. Определим показатель преломления воздуха по формуле

$$n = 1 + 2\pi\alpha \frac{P}{kT} = 1.000303 \quad (8)$$

Для $T = 295$ К и $P = 102$ кПа

$$n = 1 + \frac{(n_0 - 1)T_0 P}{T P_0} = 1.000283 \quad (9)$$

Аналогично п. 4, погрешность определения показателя преломления составляет

$$\sigma_n = 0.000018 \quad \varepsilon = 6\% \quad (10)$$

В пределах погрешность теоретический и экспериментальный результаты совпадают.

6. По результатам измерений оценим радиус молекулы азота, приняв молекулу за металлический шарик в однородном электрическом поле. Из задачи о проводниковом шаре в электрическом поле, дипольный момент его будет равен $p = 3VE_0$, но в то же время $p = \alpha E$ из определения. Получили, что

$$\alpha = 3V \Rightarrow r \sim \alpha^{1/3} \sim 10^{-10} \text{ м} \quad (11)$$

Реальный радиус молекулы азота также составляет порядка 10^{-10} м, наша оценка верна

7. Во вторую кювету запустим углекислый газ. Сразу после этого набежит разность хода, которая компенсируется поднятием компенсатора на 190 мкм.

Так как $n_2 - n_1 = \delta n$, а δn была определена по формуле через калибровочный график, $\delta n = \Delta z \frac{\lambda}{l \tan \varphi} = 0.995 \Delta z$

Поэтому

$$n_{CO_2} = n + 0.995 \Delta z = 1.000303 + 0.000189 = 1.000492 \pm 0.000032 \quad (12)$$

Погрешности определены аналогично предыдущим пунктам, и в их пределах результаты практически совпадают: при данных Т и Р $n_{CO_2} = 1.000420$

6 Вывод

В ходе работы был изучен принцип работы интерферометра Жамена, а также экспериментально определены следующие различные величины:

- поляризуемость молекулы воздуха:

$$\alpha_{exp} = 193 * 10^{-32} \pm 10 \quad \alpha_{th} = 172 * 10^{-32}$$

- показатель преломления воздуха при $T = 295$ К и $P = 102$ кПа:

$$n_{exp} = 1.000303 \pm 0.000018 \quad n_{th} = 1.000283$$

- оценен радиус молекулы азота:

$$r \sim 10^{-10} m$$

- показатель преломления углекислого газа при $T = 295$ К и $P = 102$ кПа:

$$n_{exp} = 1.000492 \pm 0.000032 \quad n_{th} = 1.000420$$

Хотя и существуют более точные интерферометры, интерферометр Жамена хорошо подходит для определения этих параметров.