

Работа 4.2.2

Интерферометр Жамена

Малиновский Владимир

galqiwi@galqiwi.ru

Цель работы: ознакомление с техникой интерференционных измерений показателей преломления газов с помощью интерферометра Жамена.

В работе используются: интерферометр Жамена; газовая кювета; осветитель; зрительная труба; сильфон; баллон с углекислым газом; манометр; краны.

Описание работы

Интерферометр Жамена позволяет посчитать разность хода лучей в двух газовых кюветах, путем измерения количества полос m , на которое сместится интерференционная картина при изменении макропараметров системы (таких, как давление или состав газа)

$$\Delta = m\lambda.$$

Поскольку разность хода и коэффициент преломления n напрямую связаны, из полученных данных можно получить изменение n

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

где l – длина газовой кюветы.

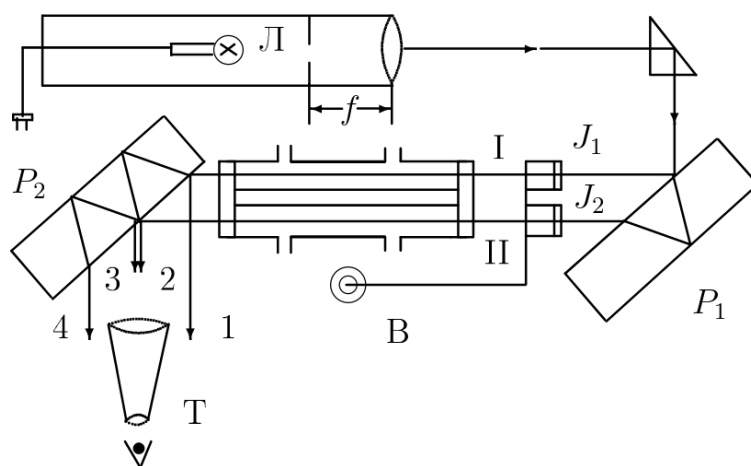


Рис. 1. Экспериментальная установка

Результаты и измерения

1-5 Юстировка

Отъюстируем интерферометр, следуя инструкциям.

6-8 Калибровка

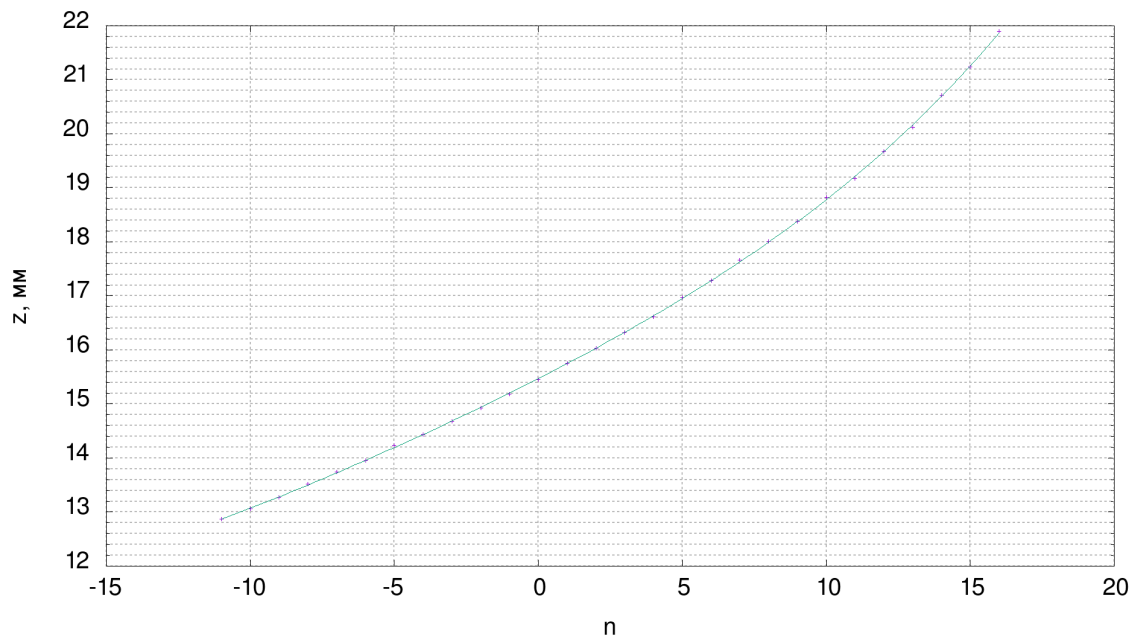
На установке имеется микрометрический винт, поворачивая который можно добиться дополнительной разности хода между лучами. Измерим зависимость m – количество полос, на которое сдвигается интерференционная картина, в зависимости от z – показаний микрометрического винта.

z , мм	12.87	13.06	13.27	13.52	13.74	13.96	14.23	14.44	14.68	14.93	15.18
n	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1

z , мм	15.45	15.75	16.03	16.32	16.62	16.97	17.29	17.67	18.01	18.38	18.83
n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

z , мм	19.17	19.68	20.12	20.71	21.24	21.9
n	11	12	13	14	15	16

$$\Delta z = 0.01 \text{ мм}$$



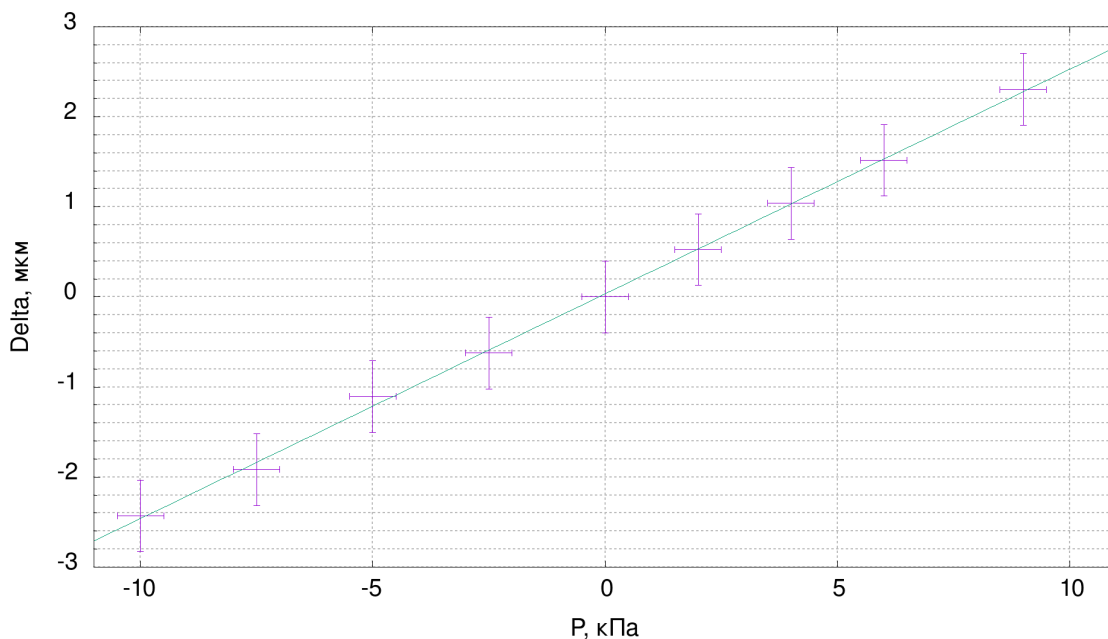
После того, как мы измерили калибровочную кривую, мы можем точно определять сдвиг интерференционной картины по показанию микрометрического винта.

9-10 Зависимость δn от P для воздуха

Измерим разность хода через смещение полос от давления P воздуха. Во время измерений смещение нулевой полосы Δ_0 при нулевом давлении заметно менялась, из-за чего для каждого значения давления мы записывали не только показания микрометрового винта в конце измерений z_0 , но и в конце z_1 .

ΔP , кПа	z_0 , мм	Δ_0 , мкм	z_1 , мм	Δ_1 , мкм	Δ , мкм
9.0	16.95	3.2	18.20	5.5	2.3
6.0	17.40	4.1	18.25	5.6	1.5
4.0	17.10	3.5	17.65	4.6	1.0
2.0	18.04	5.3	18.35	5.8	0.5
0.0	17.65	4.6	17.65	4.6	0.0
-2.5	19.03	6.9	18.63	6.3	-0.6
-5.0	19.19	7.1	18.48	6.0	-1.1
-7.5	19.82	8.0	18.53	6.1	-1.9
-10.0	20.21	8.5	18.53	6.1	-2.4

$$\Delta(\Delta P) = 0.5 \text{ кПа}, \Delta z_0 = \Delta z_1 = 0.01 \text{ мм}, \Delta(\Delta_0) = \Delta(\Delta_1) = 0.3 \text{ мкм}, \Delta(\Delta) = 0.4 \text{ мкм}$$



Известно, что

$$\Delta = \frac{2\pi\alpha l}{kT} \Delta P.$$

Из графика можно найти, что

$$\frac{\Delta}{\Delta P} = (0.25 \pm 0.04) \frac{\text{нм}}{\text{Па}}.$$

Если подставить условия ($T = 298.45 \text{ К}$, $l = 0.1 \text{ м}$), то можно получить поляризуемость молекулы азота

$$\alpha = (1.7 \pm 0.30) \cdot 10^{-30} \text{ м}^3.$$

Согласно электронному справочнику на chemport.ru, поляризуемость молекулы азота равна

$$\alpha_0 = 1.734 \cdot 10^{-30} \text{ м}^3$$

что соответствует нашим наблюдениям.

Если считать молекулу азота малым металлическим шариком, то ее поляризацию можно выразить через радиус как

$$\alpha = 4\pi r^3,$$

что дает нам значение радиуса

$$r \approx 0.5 \text{ \AA}.$$

Это значение совпадает в порядке с табличным (взятым с ido.tsu.ru)

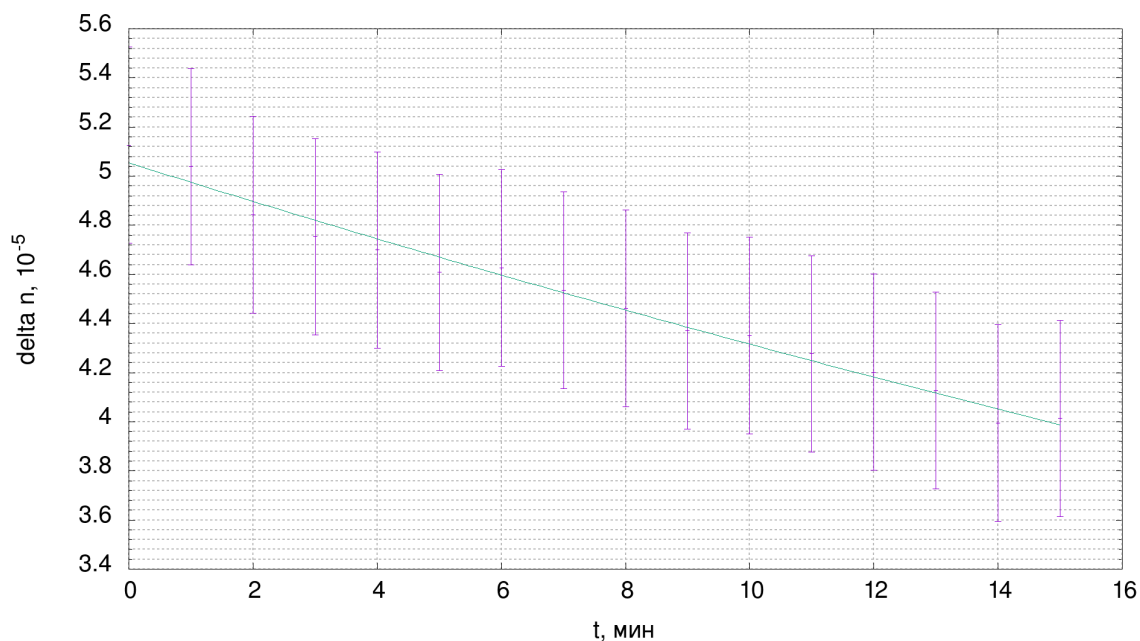
$$r \approx 0.15 \text{ \AA}.$$

0.1 11-14 Сравнение показателей преломления воздуха и углекислого газа при атмосферном давлении

Измерим разность δn от времени для смеси углекислого газа с воздухом.

$t, \text{ min}$	$z, \text{ mm}$	$\delta n, 10^{-5}$
0	17.96	5.1
1.0	17.91	5.0
2.0	17.80	4.8
3.0	17.75	4.8
4.0	17.72	4.7
5.0	17.67	4.6
6.0	17.68	4.6
7.0	17.63	4.5
8.0	17.59	4.5
9.0	17.54	4.4
10.0	17.53	4.4
11.0	17.49	4.3
12.0	17.45	4.2
13.0	17.41	4.1
14.0	17.34	4.0
15.0	17.35	4.0

$$\Delta z = 0.01 \text{ mm}, \Delta \delta n = 0.4 \cdot 10^{-5}$$



Как видно, происходит утечка углекислого газа.

0.2 оценка интервала Δ

Во время калибровки мы происследовали весь достижимый диапазон значений n . При выходе за него, полосы начинали либо накладываться друг на друга, либо становились настолько тусклыми, что их нельзя больше измерить. Это облегчает нам оценку Δn_{max}

$$\Delta n_{max} = 7.2 \cdot 10^{-5}.$$

Минимальное значение Δ , которое мы можем измерить достигается при отклонении микрометрического винта на 10 микрометров.

$$\Delta n_{min} = 1.9 \cdot 10^{-7}.$$

Вывод

Мы научились исследовать макро и микропараметры системы через эффекты волновой оптики. С помощью интерферометра Жамена мы получили зависимость коэффициента преломления от давления у воздуха и вывели численные значения для молекул азота

$$r \approx 0.5 \text{Å},$$

$$\alpha = (1.7 \pm 0.30) \cdot 10^{-30} \text{ м}^3.$$

Эти численные значения совпали с табличными данными

$$r \approx 0.15 \text{Å},$$

$$\alpha_0 = 1.734 \cdot 10^{-30} \text{ м}^3.$$

Также мы получили свидетельство наличия протечки углекислого газа через изменение показателя преломления.