

Московский физико-технический институт

Работа 4.2.3
Интерферометр Релея.



Осипов Егор. Б03-005
г. Долгопрудный

Содержание

1	Цель работы и приборы.	2
2	В работе используются.	2
3	Теоритическая часть.	2
3.1	Введение.	2
3.2	Описание установки.	3
3.3	Зависимость показателя преломления газа от давления и температуры.	4
4	Экспериментальная часть.	4
5	Вывод.	7

1 Цель работы и приборы.

Ознакомление с устройством и принципом действия интерферометра Релея и с его применением для измерения показателя преломления газов.

2 В работе используются.

Технический интерферометр ИТР-1, светофильтр, баллог с углекислым газом, сильфон, манометр, краны.

В работе используется диффракция Фраунгофера на двух щелях.

3 Теоритическая часть.

3.1 Введение.

В интерферометре Релея используется дифракция Фраунгофера на двух щелях. Используя принцип Гюйгенса-Френеля рассчитаем интенсивность световых колебаний в волне, направление распространения которой составляет угол ϕ с нормалью к экрану. Элемент щели dx посылает в направлении ϕ волну с амплитудой, пропорциональной dx . Фаза волны, приходящей в точку наблюдения от элемента с координатой x , отстает от фазы волны, приходящей с $x = 0$, на величину $kx \sin(\phi)$. Колебание dE в точка наблюдения, вызванное элементом dx , может быть записано в виде:

$$dE = a \cos(\omega t - kx \sin \phi) dx \quad (1)$$

Найдем результат суммарного действия всех элементов обеих щелей. Будем при этом считать, что в правой щели создана дополнительная разность хода, одинаковая для всех ее элементов. Интегрируя, получим:

$$E = \int_0^b a \cos(\omega t - kx\phi) dx + \int_d^{d+b} a \cos(\omega t - kx\phi - k\Delta) dx \quad (2)$$

Получаем:

$$E = 2ab \frac{\sin\left(\frac{kb\phi}{2}\right)}{\frac{kb\phi}{2}} \cos \frac{k\Delta + kd\phi}{2} \cos\left(\omega t - \frac{k\Delta + k(d+b)\phi}{2}\right) \quad (3)$$

Отсюда интенсивность:

$$I = 2I_0 \left[\frac{\sin \left(\frac{kb\varphi}{2} \right)}{\frac{kb\varphi}{2}} \right]^2 (1 + \cos(k\Delta + kd\varphi)) \quad (4)$$

Интерференционные максимумы отстоят друг от друга на равные угловые расстояния:

$$\delta\varphi = \frac{\lambda}{d} \quad (5)$$

3.2 Описание установки.

Схема прибора представлена на рисунке 1 в вертикальной и горизонтальной проекциях. Лампа накаливания Л с помощью конденсора К ярко освещает узкую входную щель S, расположенную в фокусе объектива O_1 . Коллиматор, состоящий из щели и объектива O_1 , посылает параллельный пучок на диафрагму Д с двумя вертикальными щелями. Свет, дифрагируя на двойной щели проходит кювету L, состоящую из двух одинаковых стеклянных камер, в которые вводятся исследуемые газы. Кювета занимает только верхнюю часть пространства между объективами. За кюветой расположены две стеклянные пластинки J и пластинка П. Дифракционная картина, образующая в фокальной плоскости F объектива O_2 , рассматривается через окуляр О.

Дифракционная картина, образующая в фокальной плоскости F объектива O_2 , рассматривается через окуляр О.

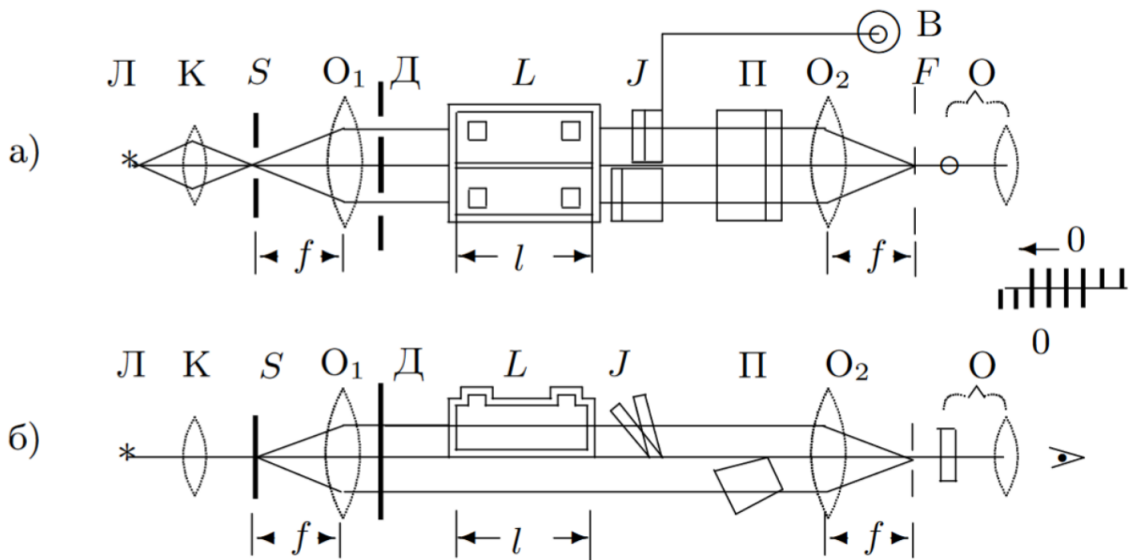


Рис. 1: Схема установки: а) вид сверху, б) вид сбоку

При заполнение камер газами с одинаковым показателем преломления системы полос совпадают. Разность хода $\Delta = \Delta n * l$, возникает при прохождении

света через камеры с разными газами и ведет к смещению полос. Смещение на одну полосу соответствует дополнительной разности хода $\Delta = \lambda$. Просчитав число полос между центрами можно рассчитать:

$$\Delta n = \frac{\Delta}{l} = m \frac{\lambda}{l} \quad (6)$$

3.3 Зависимость показателя преломления газа от давления и температуры.

Известно простое соотношение между показателем преломления газа и его плотностью:

$$n = \sqrt{\varepsilon} = \sqrt{1 + 4\pi N\alpha} \simeq 1 + 2\pi N\alpha \quad (7)$$

Принимая во внимание $p = NkT$, получим:

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

Отсюда следует, что при постоянной температуре изменение показателя преломления Δn пропорционально изменению давления ΔP .

$$\Delta n = \frac{2\pi\alpha}{kT} \Delta P \quad (9)$$

4 Экспериментальная часть.

Длина кюветы $l = 10$ см, атмосферное давление $P = 101.2 \cdot 10^3$ Па, температура $T = 21^\circ\text{C}$. Прокалибруем установку в единицах λ . Для этого построим график смещения от номера полосы:

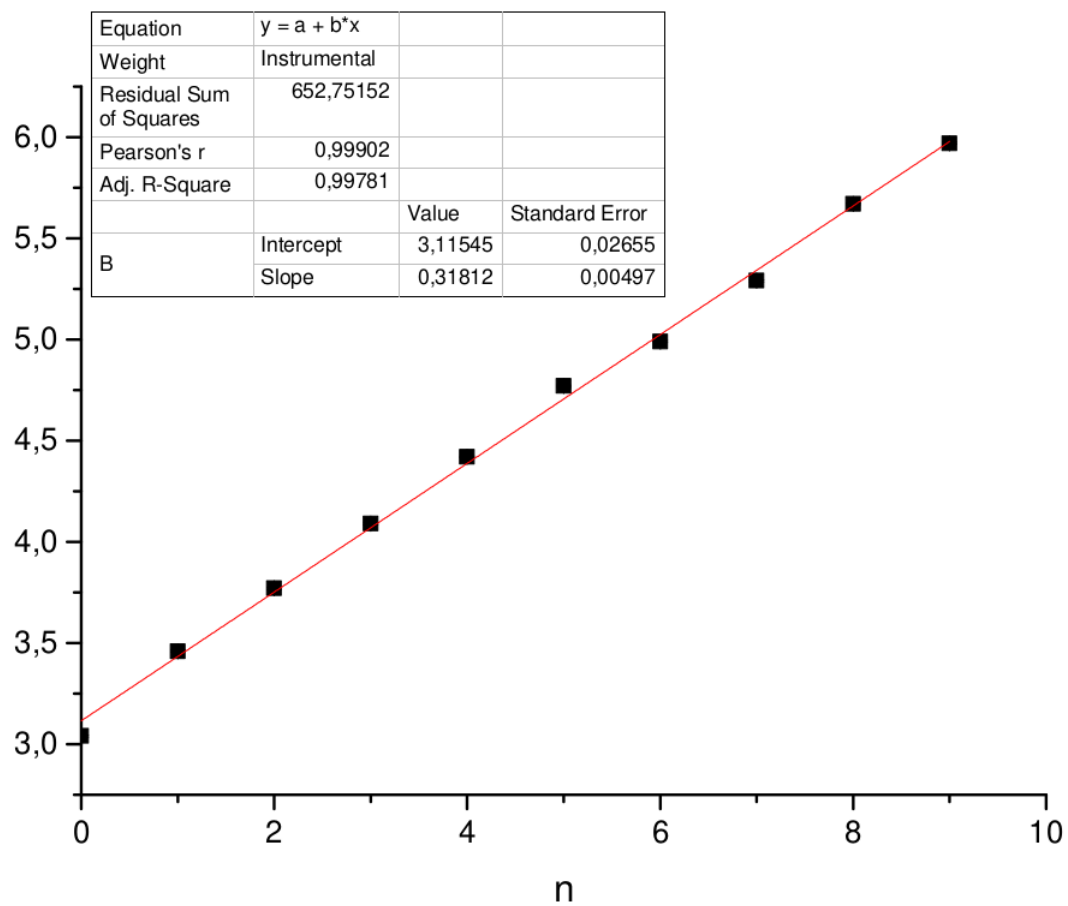


Рис. 2: Зависимость смещения от номера полосы

Будем использовать калибровочный график для расчета Δn . Таким образом построим график $\Delta n(\Delta P)$

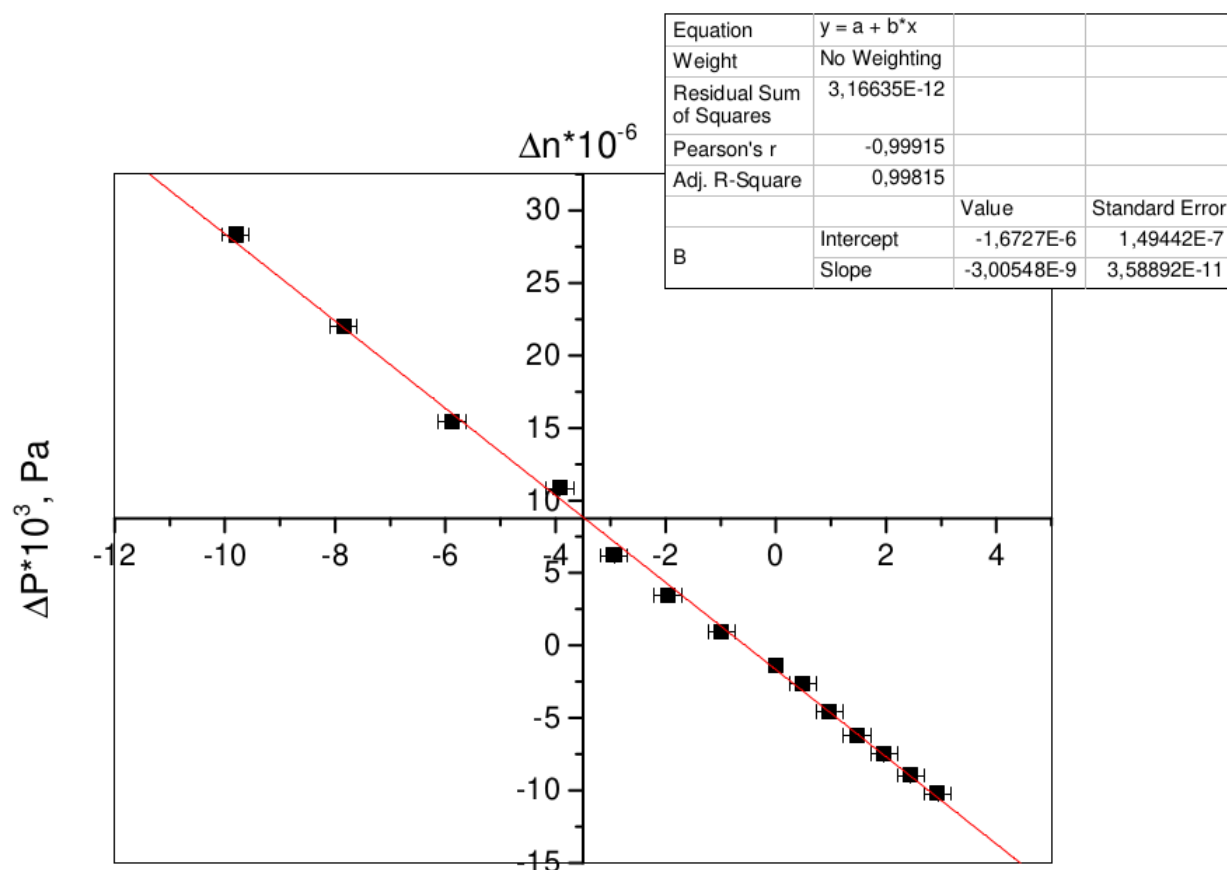


Рис. 3: Зависимость показателя преломления от перепада давлений

Отсюда получаем показатель преломления воздуха, пересчитанный к нормальным условиям $n_0 = 1.0003 \pm 0.00005$, что сходится с табличным результатом в пределах погрешности ($n_0 t = 1.0002929$).

Теперь заполним кювету углекислым газом, и пронаблюдаем зависимость смещения компенсатора от времени:

Равновесие устанавливается очень долго, следовательно концентрация CO_2 в каждый момент времени не очень понятна. Поэтому будем заполнять кювету углекислым газом медленно, во избежание изменения температуры при расширении газа и рассчитаем показатель преломления по одной начальной точке:

Таблица 1: Расчет показателя преломления

	d	Δn	n
1	10.55	0.000157	1.000457
2	10.46	0.000155	1.000455
3	10.48	0.000155	1.000455
4	10.46	0.000155	1.000455
5	10.53	0.000156	1.000456

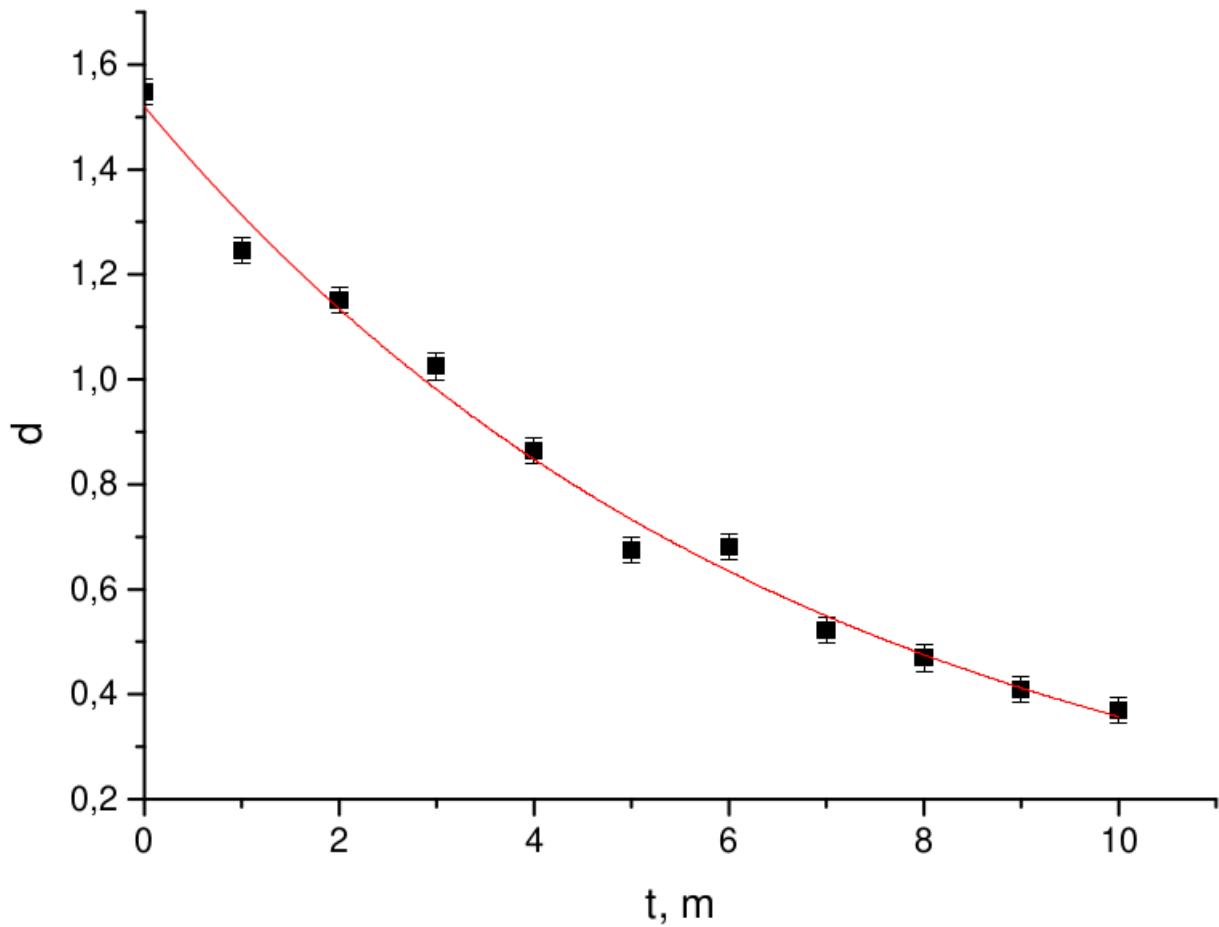


Рис. 4: Зависимость смещения компенсатора от времени

Итого $n = 1.00045 \pm 0.00002$. Табличный показатель преломления для CO_2 : $n_0 = 1.00045$, что также сходится с нашими измерениями.

5 Вывод.

Интерферометр Релея позволяет измерять разность показателей преломления в двух кюветах с высокой точностью. Для таких измерений нужно поддерживать давление в кюветах и концентрацию газа постоянной, в противном случае точность и простота измерений значительно ухудшаются.