

## 4.2.3

## ИНТЕРФЕРОМЕТР РЕЛЕЯ

Егор Берсенеv

## 1 Цель работы

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

## 2 Оборудование

Технический интерферометр ИТР-1, светофильтр, баллон с углекислым газом, сиффон, манометр, краны.

## 3 Теоретическая часть

В интерферометре Релея используется дифракция Фраунгофера на двух щелях. Используя принцип Гюйгенса-Френеля рассчитаем интенсивность световых колебаний в волне, направление распространения которой составляет угол  $\varphi$  с нормалью к экрану. Элемент щели  $dx$  посылает в направлении  $\varphi$  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  $kx \sin \varphi$ . Колебание  $dE$  в точка наблюдения, вызванное элементом  $dx$ , может быть записано в виде:

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

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

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

Получаем:

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

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:

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

### 3.1 Описание установки

Схема прибора представлена на рисунке 1 в вертикальной и горизонтальной проекциях. Лампа накаливания  $\Lambda$  с помощью конденсора  $K$  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. 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  $\Pi$ .

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

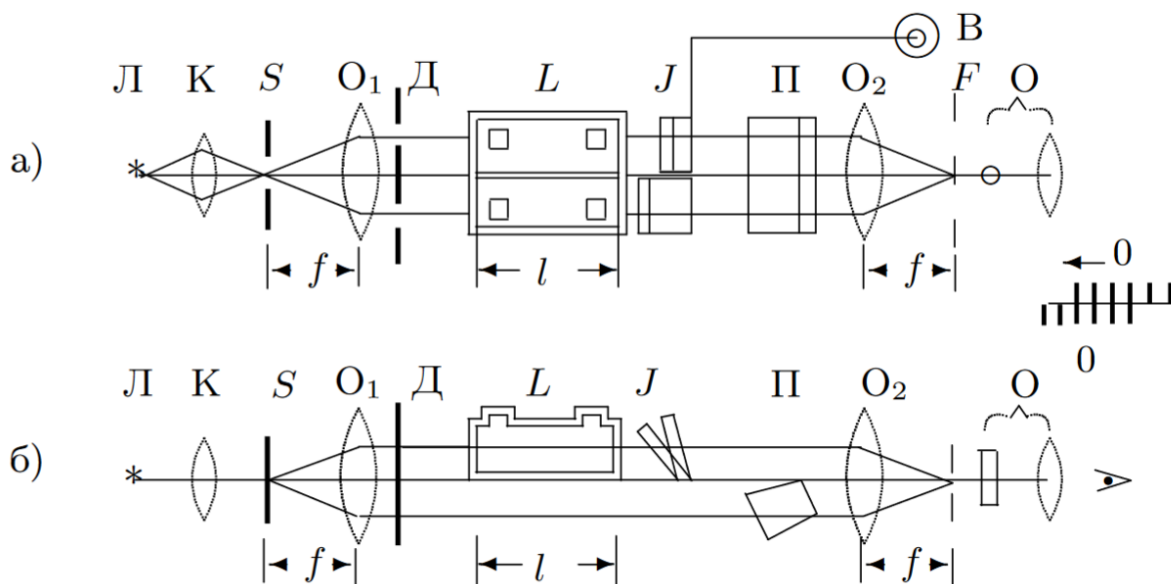


Рис. 1: Схема установки: а) вид сверху, б) вид сбоку

При заполнение камер газами с одинаковым показателем преломления  $n$  системы полос совпадают. Разность хода  $\Delta = \Delta n \cdot l$ , 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:

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

### 3.2 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  $p = NkT$ , получаем:

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

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

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

## 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  $\lambda$ . Для этого построим график смещения от номера полосы:

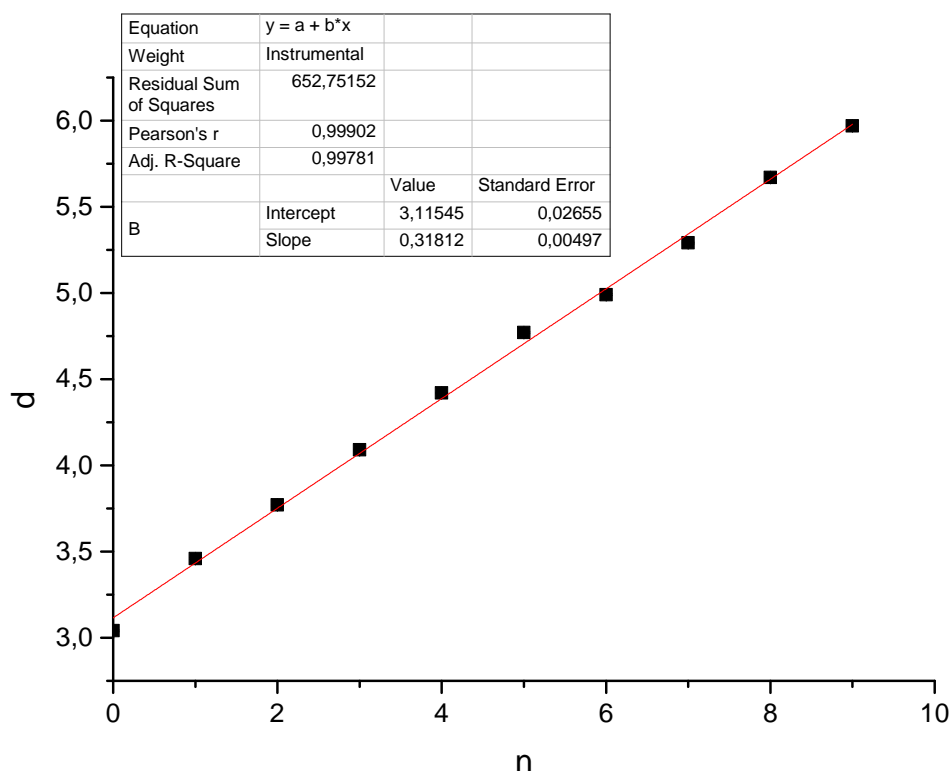


Рис. 2: Зависимость смещения от номера полосы

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

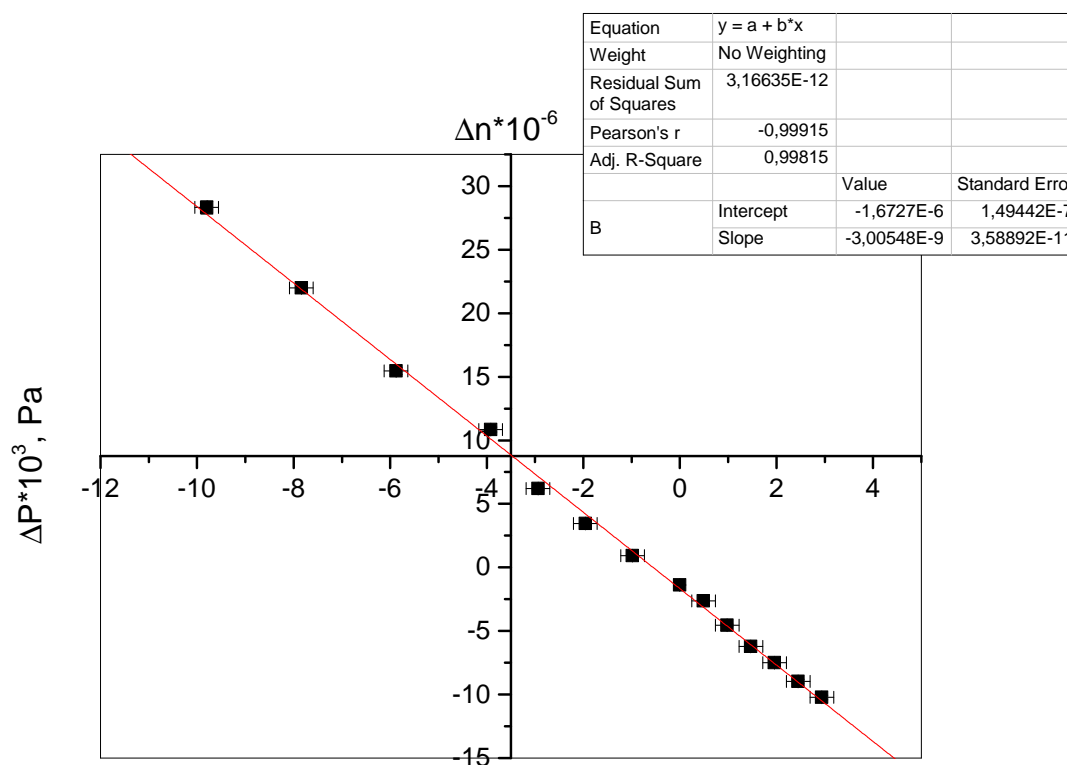


Рис. 3: Зависимость показателя преломления от перепада давлений

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  $\text{CO}_2$  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	$\Delta n$	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

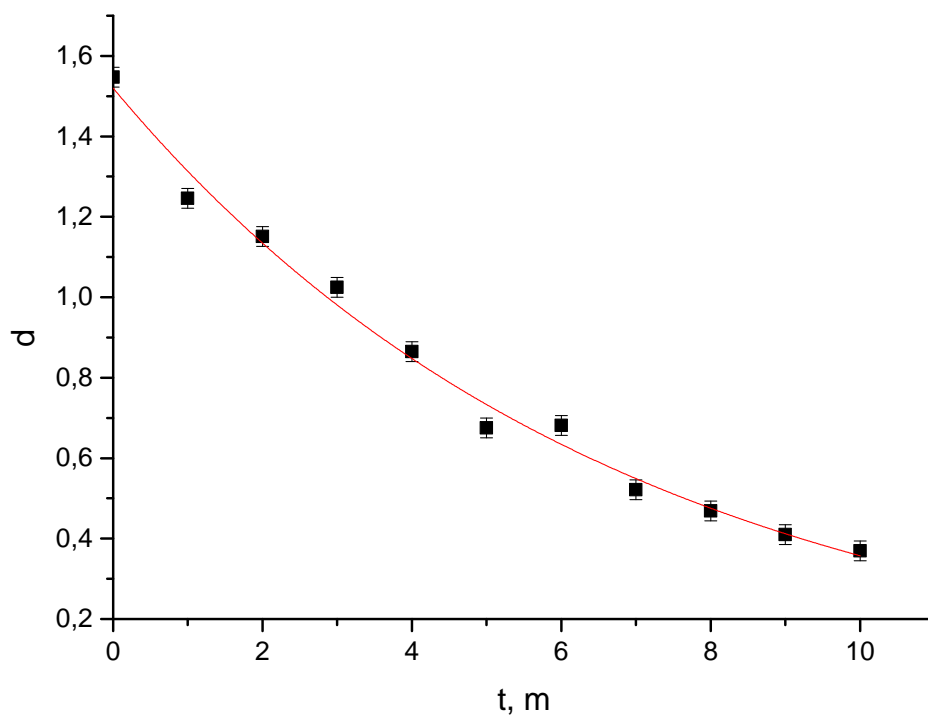


Рис. 4: Зависимость смещения компенсатора от времени

Итого  $n = 1.00045 \pm 0.00002$ . Табличный показатель преломления для  $\text{CO}_2$   $n_0 = 1.00045$ , 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.