

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3.02

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА КРИВИЗНЫ ЛИНЗЫ ПРИ ПОМОЩИ КОЛЕЦ НЬЮТОНА

#### 1. Цель работы

Целью данной работы является изучение явления интерференции света и применения этого явления для измерения радиуса кривизны линзы при помощи колец Ньютона.

#### 2. Краткая теория

Свет представляет собой электромагнитные волны. Волновая природа света проявляется в таких явлениях, как, например, интерференция, дифракция, поляризация, дисперсия света. Интерференцией света называется явление наложения двух (или нескольких) когерентных световых волн, сопровождающееся перераспределением светового потока в пространстве, что приводит к появлению в одних местах максимумов, а в других – минимумов интенсивности. Источники света и испускаемое ими световое излучение называются когерентными, если они имеют строго одинаковую частоту и постоянную разность фаз.

Большинство естественных и искусственных источников света когерентными не являются. Поэтому при наложении света от независимых источников интерференция не наблюдается. (Исключение составляют лазеры, излучение которых является когерентным). Поэтому для наблюдения интерференции света, как правило, приходится каким-либо способом разделять излучение одного источника на две когерентные части. Две части исходной волны после прохождения разных оптических путей накладываются друг на друга и наблюдается интерференционная картина.

Пусть в некоторой точке пространства **O** происходит разделение излучения на две когерентных волны. До точки **M**, в которой происходит наложение волн и наблюдается интерференция, одна волна проходит путь  $S_1$  в среде с показателем преломления  $n_1$ , вторая волна – путь  $S_2$  в среде с

показателем преломления  $n_2$ . Расстояние, проходимое каждой волной ( $S_1$  и  $S_2$  для первой и второй волны соответственно), называется геометрическим путем волны. Если в точке **O** фаза колебаний в каждой волне равна  $\omega t$ , то в точке **M** первая волна возбуждает колебание

$$\xi_1 = A_1 \cos \omega \left( t - \frac{S_1}{v_1} \right), \quad (3.02.1)$$

а вторая волна – колебание

$$\xi_2 = A_2 \cos \omega \left( t - \frac{S_2}{v_2} \right), \quad (3.02.2)$$

где

$$v_1 = \frac{c}{n_1}, \quad (3.02.3)$$

$$v_2 = \frac{c}{n_2}, \quad (3.02.4)$$

где  $v_1, v_2$  – фазовая скорость соответственно первой и второй волны.

Разность фаз  $\Delta\varphi$  двух когерентных волн

$$\begin{aligned} \Delta\varphi &= \omega \left( \frac{S_2}{v_2} - \frac{S_1}{v_1} \right) = 2\pi\nu \left( \frac{n_2 S_2}{c} - \frac{n_1 S_1}{c} \right) = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_2 S_2 - n_1 S_1) = \\ &= \frac{2\pi}{\lambda_0} (L_2 - L_1) = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta. \end{aligned} \quad (3.02.5)$$

Здесь мы учли, что

$$\frac{\omega}{c} = \frac{2\pi\nu}{c} = \frac{2\pi}{\lambda_0},$$

где  $\lambda_0$  – длина волны в вакууме,  $c$  – скорость распространения света в вакууме.

Произведение геометрической длины  $S$  пути световой волны в данной среде на показатель преломления этой среды  $n$  называется оптической длиной

пути  $L$ , а разность оптических длин путей двух волн  $L_1 - L_2$  называется оптической разностью хода  $\Delta$ .

Если оптическая разность хода двух волн в некоторой точке пространства равна целому числу длин волн в вакууме

$$\Delta = \pm k\lambda_0 \quad (k = 0, 1, 2, \dots), \quad (3.02.6)$$

то разность фаз

$$\Delta\varphi = \pm 2\pi k \quad (3.02.7)$$

и колебания, возбуждаемые в этой точке обеими волнами, происходят в одной фазе, т.е. усиливают друг друга. Следовательно, выражение (3.02.6) является условием интерференционного максимума.

Если оптическая разность хода равна нечетному числу половин длин волны

$$\Delta = \pm(2k + 1)\frac{\lambda_0}{2}, \quad (3.02.8)$$

то разность фаз

$$\Delta\varphi = \pm(2k + 1)\pi \quad (3.02.9)$$

и колебания, возбуждаемые в данной точке, происходят в противофазе, т.е. друг друга ослабляют. Следовательно, выражение (3.02.8) является условием интерференционного минимума.

Схема установки для наблюдения колец Ньютона изображена на рис. 2.1. На плоскую стеклянную пластинку помещена плосковыпуклая линза с большим радиусом кривизны  $R$ . На верхнюю плоскую поверхность линзы падает пучок лучей. При этом можно наблюдать, начиная от места соприкосновения линзы с плоской поверхностью пластинки, ряд концентрических колец: светлых при монохроматическом и окрашенных при белом свете.

Образование этих колец в данной работе вызвано интерференцией между лучами, отразившимися от верхней и нижней границ воздушного промежутка



световых волн от более оптически плотной среды (в точке  $b$ ) происходит потеря полуволны  $\lambda/2$ . Следовательно, оптическая разность хода  $I$  и  $II$  лучей

$$\Delta = 2d + \frac{\lambda}{2}. \quad (3.02.10)$$

(Показатель преломления среды  $n = 1$ , так как промежуток воздушный).

Если оптическая разность хода  $\Delta$  окажется равной нечетному числу полуволн, то фазы колебаний в двух лучах будут противоположны, лучи друг друга погасят и при данной толщине воздушного промежутка будет наблюдаться темная область. Там, где при другой толщине воздушного слоя разность хода  $\Delta$  окажется равной четному числу полуволн, фазы колебаний в двух лучах будут одинаковы, и в соответствующем месте будет наблюдаться светлая область.

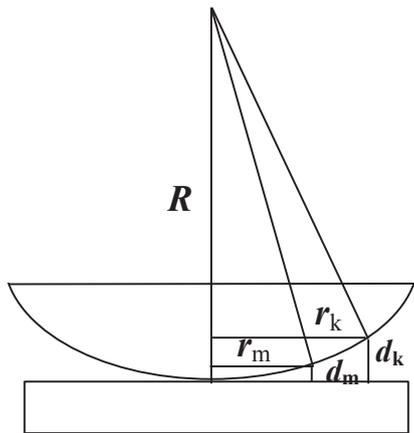


Рис.2.3

Толщина слоя воздуха от центра к краю непрерывно возрастает, как это видно из рис. 2.3, значит, и разность хода лучей также будет непрерывно изменяться. При разной толщине воздушного промежутка она будет равной то четному, то нечетному числу полуволн через непрерывный ряд промежуточных значений. Следовательно, мы увидим чередование освещенных

областей и неосвещенных (темных). При нормальном падении света эти области будут иметь вид чередующихся светлых и темных колец.

Разность хода лучей для  $k$  – го и  $m$  – го темных колец имеет вид:

$$\Delta_k = 2d_k + \frac{\lambda}{2} = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}, \quad (3.02.11)$$

$$\Delta_m = 2d_m + \frac{\lambda}{2} = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}. \quad (3.02.12)$$

Вычитая из первого уравнения второе, получим

$$2(d_k - d_m) = 2(k - m) \frac{\lambda}{2}, \quad (3.02.13)$$

или окончательно

$$d_k - d_m = (k - m) \frac{\lambda}{2}. \quad (3.02.14)$$

Толщины слоя  $d_k$  и  $d_m$  можно выразить через радиусы темных колец  $r_k$  и  $r_m$  и радиус кривизны линзы  $R$ . В соответствии с теоремой Пифагора (рис. 2.3) запишем:

$$r_k = R^2 - (R - d_k)^2 = (2R - d_k) \cdot d_k = 2Rd_k, \quad (3.02.15)$$

поскольку  $2R \gg d_k$ . Отсюда находим

$$d_k = \frac{r_k^2}{2R}, \quad \text{и аналогично} \quad d_m = \frac{r_m^2}{2R}. \quad (3.02.16)$$

Подставив выражения  $d_k$  и  $d_m$  из уравнений (3.02.16) в уравнение (3.02.14), находим:

$$(k - m) \frac{\lambda}{2} = \frac{r_k^2 - r_m^2}{2R}, \quad (3.02.17)$$

откуда можно выразить радиус кривизны линзы

$$R = \frac{(r_k + r_m)(r_k - r_m)}{\lambda(k - m)}. \quad (3.02.18)$$

Обозначив через  $D_k$  и  $D_m$  диаметры соответствующих колец, получим окончательную формулу для радиуса кривизны линзы:

$$R = \frac{(D_k + D_m)(D_k - D_m)}{4\lambda(k - m)}. \quad (3.02.19)$$

### 3. Выполнение работы.

**3.1. Необходимые приборы:** микроскоп с укрепленной на нем обоймой с линзой, источник света. Цена деления окулярного микрометра равна 0,035 мм. Длина волны света, пропускаемого светофильтром, равна 600 нм.

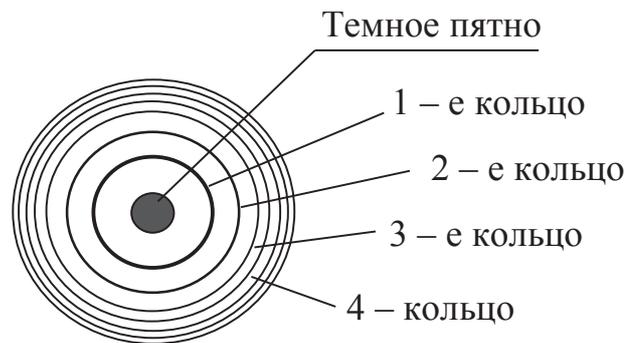


Рис. 2.4. Изображение поля зрения

**3.2. Порядок выполнения работы.** В работе используется микроскоп школьного типа с окулярным микрометром. Микроскоп фокусируют так, чтобы кольца Ньютона были отчетливо видны (рис.2.4).

После настройки микроскопа измеряют, пользуясь окулярным микрометром, диаметры 1, 2, 3, 4, 5, 6, и 7 темных колец в делениях шкалы. Умножив на цену деления, вычисляют диаметр колец в миллиметрах. При вычислениях пары колец рекомендуется брать в определенной последовательности, например, 7 – е и 4 – е, 6 – е и 3 – е, 5 – е и 2 – е, 4 – е и 1 – е. При расчете  $R$  по формуле (3.02.19) необходимо  $D$  и  $\lambda$  выразить в одних и тех же единицах, например, в метрах или миллиметрах. Радиус кривизны будет при этом получаться в выбранных единицах.

Результаты заносят в таблицу 2.1.

## Результаты измерений

Номер кольца	Диаметр кольца, $D$		Радиус линзы, $R$ , мм	$\Delta R$ , мм
	дел.	мм		
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
Средние значения				

По полученным значениям  $R$  вычисляют среднее значение радиуса кривизны  $\bar{R}$ , а также среднюю абсолютную и относительную погрешности  $\Delta\bar{R}$  и  $E$ .

$$E = \frac{\Delta\bar{R}}{\bar{R}}. \quad (3.02.20)$$

Окончательный результат записывают в виде:

$$R = \bar{R} \pm \Delta\bar{R}. \quad (3.02.21)$$

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ

1. Что представляет собой монохроматический свет?
2. Что называется геометрической и оптической разностью хода лучей?
3. В чем заключается явление интерференции света?
4. Расскажите, как происходит интерференция в клинообразной пластинке.
5. Как получаются кольца Ньютона?
6. Вывести формулу для определения радиуса кривизны линзы, используя радиусы колец Ньютона.
7. Рассказать порядок выполнения работы.

8. Задача. Каково расстояние между 10 и 11 – м темными кольцами Ньютона, если расстояние между 1 и 2 – м кольцами равно 0,5 мм. Наблюдение ведется в отраженном свете. Ответ: 0,19 мм.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимова Т. И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1985. – 432 с.
2. Ландсберг Г. С. Оптика. – М.: Недра, 1976. – 926 с.
3. Чечулин А. А. Волновые процессы. Оптика. Элементы атомной и ядерной физики. – М.: Физматгиз, 1959. – 396 с.