

№12 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ ПРИ ПОМОЩИ КОЛЕЦ НЬЮТОНА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение волновых свойств света, определение длины световой волны при помощи колец Ньютона.

2. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Микроскоп МБИ-1, стеклянные пластины, осветитель ОИ-18.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Кольца Ньютона являются частным случаем интерференции в тонких пленках и пластинках. Явление усиления амплитуды волны в одних точках пространства и ослабление в других, при наложении двух или более когерентных волн, называется интерференцией волн. Две волны одной частоты называются когерентными, если разность фаз колебаний, возбуждаемых в данной точке пространства, не меняется с течением времени. Свет, излучаемый естественными источниками, является некогерентным. Причина заключается в механизме испускания света атомами источника. Продолжительность излучения света атомом $\tau \sim 10^{-8}$ с. За это время возбужденный атом затрачивает избыточную энергию и возвращается в невозбужденное (нормальное) состояние. Через некоторый промежуток времени атом может снова возбудиться и опять излучить порцию света (квант света). Такое прерывистое излучение в виде отдельных кратковременных импульсов – цугов волн – характерно для любого источника света (рис.1).

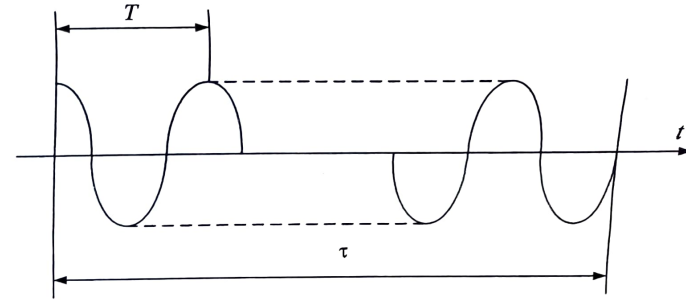


Рис.1

В среднем число колебаний в цуге $N = \frac{\tau}{T} = 5 \cdot 10^6$, т.е. цуг

представляет собой практически монохроматическую волну. При спонтанном (самопроизвольном) излучении атомы излучают независимо друг от друга, т.е. даже для одного атома :

- начальные фазы цугов волн не связаны между собой;
- значения ω для цугов могут несколько различаться;
- каждый цуг плоскополяризован. Однако плоскости поляризации различных цугов ориентированы по разному.

Получить когерентные волны оказывается возможным, если волну, излучаемую одним источником, разделить на две части, заставить их пройти разные оптические пути, а затем снова наложить друг на друга (рис.2). При этом оптическая разность хода Δ должна быть меньше длины цуга $L = c \cdot \tau$. В противном случае наложатся колебания, принадлежащие разным цугам, и разность фаз между ними будет меняться хаотическим образом, т.е. волны будут некогерентными.

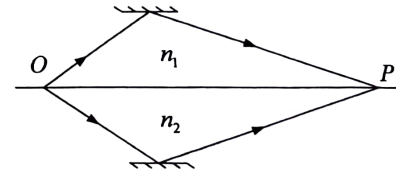


Рис.2

Пусть волна возбуждает в точке O , на границе раздела двух сред с показателями преломления n_1 и n_2 , колебание

$$x = A \cos(\omega t + \alpha).$$

Пусть в этой же точке волна разбивается на две, и первая до точки P проходит путь l_1 в среде с показателем преломления n_1 , а вторая - путь l_2 в среде с показателем преломления n_2 . В точке P две волны возбуждают колебания:

$$x_1 = A \cos(\omega(t - \tau_1) + \alpha) \quad x_2 = A \cos(\omega(t - \tau_2) + \alpha)$$

Разность фаз колебаний в точке P будет равна:

$$\delta = \left[(\omega(t - \tau_1) + \alpha) - (\omega(t - \tau_2) + \alpha) \right] = \omega(\tau_2 - \tau_1) = \omega \left(\frac{l_2}{V_2} - \frac{l_1}{V_1} \right)$$

Учитывая, что

$$n_1 = \frac{c}{V_1}; \quad n_2 = \frac{c}{V_2},$$

получим:

$$\delta = \frac{\omega}{c} (n_2 l_2 - n_1 l_1) = \frac{2\pi\nu}{c} \Delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta,$$

где $\Delta = (n_2 l_2 - n_1 l_1)$ - оптическая разность хода двух когерентных

волн; $\lambda_0 = \frac{c}{\nu}$ - длина волны в вакууме.

Если $\delta = \pm 2\pi k$; ($k = 0, 1, 2, 3, \dots$), то волны усиливают друг друга, т.е.

$$\frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta = \pm 2\pi k; \quad \Delta = \pm 2k \frac{\lambda_0}{2}, (1) - \text{условие максимума} - \text{оптическая}$$

разность хода равна четному числу полувопл.

Если $\delta = \pm (2k + 1)\pi$; ($k = 0, 1, 2, 3, \dots$), то волны ослабляют друг

$$\text{друга, т.е. } \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta = \pm (2k + 1)\pi; \quad \Delta = \pm (2k + 1) \frac{\lambda_0}{2}, (2) - \text{условие минимума} -$$

оптическая разность хода равна нечетному числу полувопл.

Для определения длины световой волны можно использовать интерференционную картину, известную под названием колец Ньютона.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

4.1 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

На столик микроскопа (смотри рисунок 3) помещают толстую плоскопараллельную стеклянную пластину Π и на неё линзу L с большим радиусом кривизны.

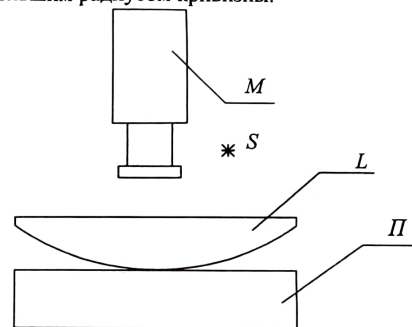


Рис.3

Точка соприкосновения линзы с пластиной должна находиться приблизительно на оптической оси микроскопа M .

Осветим эту систему монохроматическим светом (красным) от источника S . Изменяя расстояние от объектива до линзы, т.е. перемещая вверх и вниз тубус микроскопа, наблюдаем резкую интерференционную картину в виде концентрических колец с темным кружком в центре.

Эта картина, называемая кольцами Ньютона в отраженном свете, является результатом наложения световых волн, получившихся из падающей волны (луч 1) при отражении ее от сферической поверхности линзы (луч 1') и от поверхности стеклянной пластины (луч 1'') (смотри рисунок 4).

Найдем длину волны падающего света, если радиус R сферической поверхности линзы известен, радиус r_k светлого или темного кольца можно измерить, а угол падения света на линзу и пластину принять за 0° (рис.4).

Пусть:

r_k - радиус темного кольца, имеющего номер k ;

h - расстояние от линзы до пластины, соответствующее этому радиусу;

a - величина зазора между вершиной линзы и стеклянной пластиной (из-за наличия пылинок).

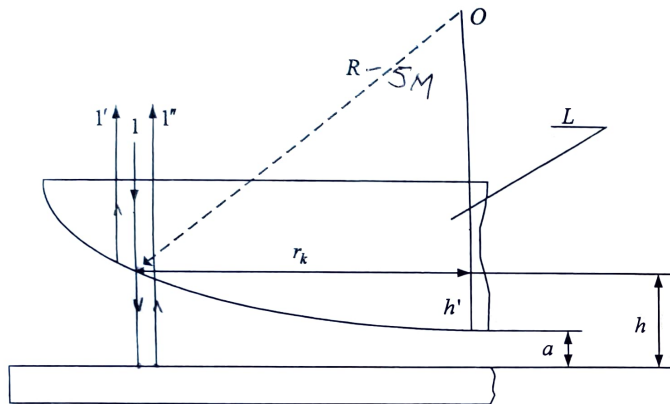


Рис.4

Из рисунка 4 следует:

$$\Delta = 2hn + \frac{\lambda_0}{2}, (3)$$

где $2h$ - геометрическая разность хода волн.

n - показатель преломления среды в зазоре (для воздуха $n=1$)

$\frac{\lambda_0}{2}$ - слагаемое, появившееся из-за изменения фазы колебаний

волн при отражении от оптически более плотной среды (луч $1''$).

Приравняв правые части (2) и (3), получим:

$$k\lambda_0 = 2h, (4)$$

Выразим h через известные величины (смотри рисунок 4):

$$h = h' + a;$$

$$\text{но } (R - h')^2 = R^2 - r_k^2,$$

$$\text{или } r_k^2 = 2Rh' - (h')^2$$

Так как $R \gg h'$, то можно принять: $r_k^2 = 2Rh'$, т.е.

$$h' = \frac{r_k^2}{2R}.$$

$$\text{Тогда: } h = \frac{r_k^2}{2R} + a, (5)$$

Подставив (5) в (4), получим:

$$k\lambda_0 = \frac{r_k^2}{R} + 2a, (6)$$

Определить λ_0 из (6) не представляется возможным, т. к. кроме λ_0 неизвестна и величина a .

Поэтому проводят еще одно измерение для кольца с номером m :

$$m\lambda_0 = \frac{r_m^2}{R} + 2a. (7)$$

Решая совместно (6) и (7), получим рабочую форму для определения λ_0 :

$$\lambda_0 = \frac{r_k^2 - r_m^2}{R(k - m)}$$

или

$$\lambda_0 = \frac{d_k^2 - d_m^2}{4R(k - m)}, (8) \quad R = 5 \text{ м}$$

где d_k и d_m диаметры соответствующих темных колец.

4.2 ВЫПОЛНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Включить источник монохроматического света и, наблюдая в окуляр микроскопа, медленно перемещать тубус вверх и вниз, чтобы уловить интерференционную картину.

2. С помощью миллиметровой шкалы, находящейся на кронштейне микроскопа, и микрометрического винта, находящегося сбоку, измерить диаметр 2-го темного интерференционного кольца Ньютона d_2 . Для этого:

а) установить перекрестие на 2-м кольце слева от его центра;

- б) записать показания линейки и микрометра.
 в) передвинуть перекрестие на правую сторону этого же кольца и снять показания; разность показаний, равную диаметру 2-го кольца, записать в таблицу.

3. Аналогично измерить диаметры 4-го и 6-го тёмных колец

Таблица

Номер кольца	Диаметр кольца, мм	λ , мкм	$\bar{\lambda}$, мкм	$\Delta\lambda_i$, мкм	$\Delta\lambda$, мкм	$\bar{\lambda} \pm \Delta\lambda$, мкм	ε
2							
4							
6							

4.3 ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

а) По формуле (8) вычислить значение длины волны света λ . При вычислениях использовать три парных комбинации диаметров колец Ньютона d_2 и d_4 , d_2 и d_6 , d_4 и d_6 .

б) Определить среднюю величину $\bar{\lambda}$, $\Delta\lambda_i$ и абсолютную погрешность $\Delta\lambda = t_\alpha(n)S$,

где $t_\alpha(n) = t_{0,95}(3) = 4,3$ - коэффициент Стьюдента;

$$S = \sqrt{\frac{\sum (\Delta\lambda_i)^2}{n(n-1)}} \text{ - средняя квадратичная погрешность серии}$$

измерений.

в) Определить относительную погрешность $\varepsilon = \frac{\Delta\lambda}{\bar{\lambda}}$.

г) Записать окончательный результат

$$\lambda = \bar{\lambda} \pm \Delta\lambda, \text{ мкм} \quad \varepsilon = \quad \%,$$

соблюдая правила округлений.

5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие волны называются когерентными?
2. Что такое интерференция волн?
3. Что называют оптической разностью хода?

4. Соотношение между разностью фаз и оптической разностью хода.

5. Почему не возникают интерференционные полосы при отражении от других поверхностей линзы и пластины?

6. Какая картина будет наблюдаться, если свет, падающий на линзу, не будет монохромным?

7. Чем отличается от наблюдаемой в работе интерференционная картина колец Ньютона в проходящем свете?

Список литературы

1. И.В. Савельев «Курс общей физики» т.2. М, 2002
2. Д. В. Сивухин «Общий курс физики» - Оптика, М, Наука, 1985.