

# Лабораторная работа 1 (1.1)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТОВЫХ ВОЛН ПРИ НАБЛЮДЕНИИ КОЛЕЦ НЬЮТОНА

Цель работы: ознакомление с явлением интерференции света; определение длины световой волны и радиуса кривизны линзы.

### Общие сведения

Интерференция световых волн – это явление перераспределения светового потока в пространстве, возникающее при наложении когерентных световых волн, в результате чего в одних местах возникают максимумы, а в других – минимумы интенсивности света. Волны называются когерентными, если разность фаз возбуждаемых ими колебаний остается постоянной во времени. Когерентные световые волны можно получить, разделив (с помощью отражений) волну, излучаемую одним источником, на две части. В частности, разделение волны на две когерентные можно осуществить путем ее отражения от поверхностей тонкого прозрачного слоя.

Пусть на поверхность клиновидного слоя падает луч 1 (рис. I). В точке A он разделяется на два – отраженный 2 и преломленный 3. Преломленный луч, в свою очередь, отражается от второй поверхности слоя в точке B, а затем преломляется в точке D. Полученные таким образом два когерентных луча 2 и 4 дают интерференционный эффект вблизи верхней поверхности слоя в точке C. При малом угле клина  $\alpha$  и малом угле  $\epsilon$  падения луча точка C будет близка к точке A и практически будет находиться на поверхности слоя. Оптическая разность хода  $\Delta$  в этом случае выразится в виде  $\Delta = (AB + BD)n + \lambda/2$  (приближенно полагаем  $AC - DC = 0$  и  $AB - BD = d$ ) или:

$$\Delta = 2dn + \lambda/2, \quad (I)$$

где  $d$  – толщина клина в точке A;  $n$  – показатель преломления материала клина.

Член  $\lambda/2$  возникает вследствие изменения (запаздывания) фазы на  $\pi$  при отражении света от оптически более плотного слоя диэлектрика в оптически менее плотный.

Условия интерференционных максимумов и минимумов будут иметь

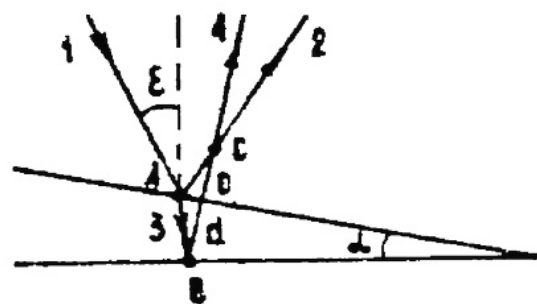


Рис. I

вид:

$$\begin{aligned} 2dn + \lambda/2 &= \kappa \lambda & (\text{максимум}); \\ 2dn + \lambda/2 &= (2\kappa + 1) \lambda/2 & (\text{минимум}), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\kappa = 1, 2, \dots$  — порядок интерференционного максимума и минимума.

Каждому значению  $\kappa$  соответствует интерференционная полоса (максимум или минимум), локализованная вблизи тех точек поверхности слоя, где его толщина одинакова. Поэтому такие полосы называют полосами равной толщины. Для клиновидного слоя полосы равной толщины параллельны ребру клина (рис.2).

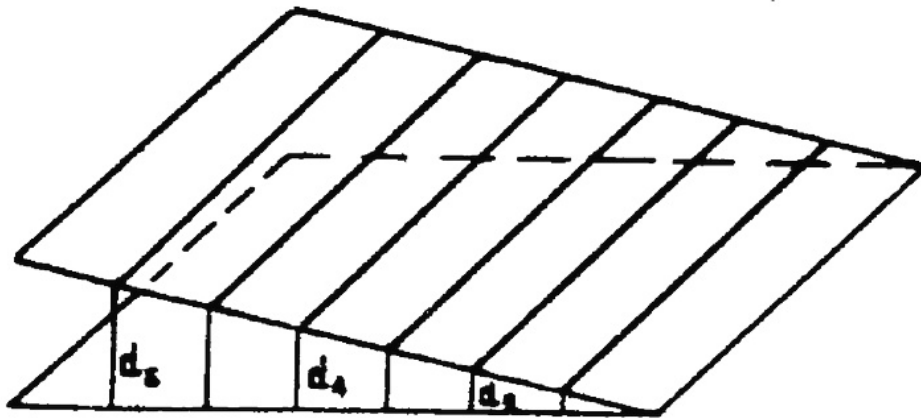


Рис.2

При наложении сферической линзы на плоскую стеклянную пластинку между ними возникает воздушный слой ( $n = 1$ ) (рис.3). Так как геометрические места одинаковых толщин воздушного зазора имеют вид колец, то соответствующая интерференционная картина имеет вид чередующихся светлых и темных концентрических колец с темным пятном в центре. Такую интерференционную картину называют кольцами Ньютона. Формула (1) для воздушного клина ( $n = 1$ ) принимает вид:

$$\Delta = 2d + \lambda/2. \quad (3)$$

Учитывая условия (2), получим толщину  $d_\kappa$  для слоя в точках максимума и минимума порядка  $\kappa$ :

$$\begin{aligned} d_\kappa &= \frac{(2\kappa - 1)}{2} \cdot \lambda/2 & (\text{максимум}); \\ d_\kappa &= \kappa \cdot \lambda/2 & (\text{минимум}). \end{aligned} \quad (4)$$

Условия (4) показывают, при каких значениях  $d$  возникают светлые и темные интерференционные кольца.

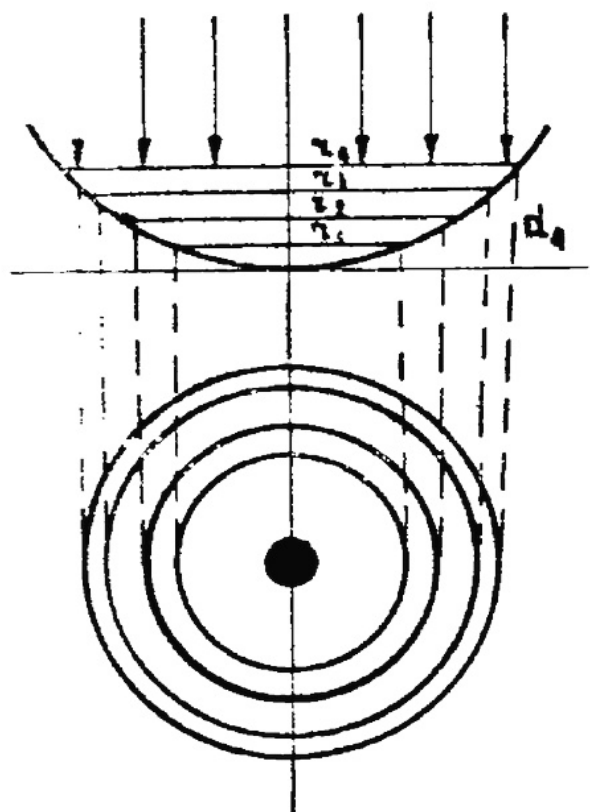


Рис. 3

Найдем радиусы колец Ньютона, получающихся при падении света по нормали к пластинке. Из рис. 4 следует, что:

$$R^2 = (R-d)^2 + z^2 \approx R^2 - 2Rd + z^2, \quad (5)$$

где  $R$  — радиус кривизны линзы;

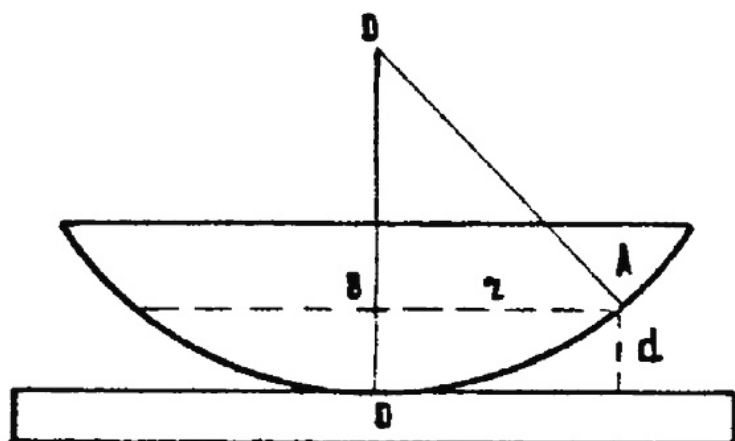


Рис. 4

$z$  — радиус окружности, всем точкам которой соответствует одинаковый зазор  $d$ . Ввиду малости  $d$  мы пренебрегли величиной  $d^2$  по сравнению с  $2Rd$ . В соответствии с (5)  $z^2 = 2Rd$ . Подставив сюда условия (4) для  $d_k$ , получим выражения для радиуса  $k$ -го светлого кольца:

$$z_k = \sqrt{(k-1/2)\lambda R} \quad (k=1, 2, 3, \dots)$$

и радиуса  $k$ -го темного кольца:

$$z_k = \sqrt{k\lambda R} \quad (k=1, 2, \dots).$$

Измеряя радиусы соответствующих колец, можно (зная длину волны  $\lambda$ ) определить радиус кривизны  $R$  линзы и, наоборот, по известному  $R$  найти  $\lambda$ .

Так как обеспечить идеальный контакт линзы и пластинки в одной точке трудно вследствие упругой деформации стекла или попадания пылинок, то пользуются другой формулой, в которую входит комбинация из двух значений радиусов колец  $z_k$  и  $z_m$ :

$$z_k^2 - z_m^2 = (k-m)\lambda R. \quad (6)$$

Из (6) выражают радиус кривизны  $R$  линзы или длину волны  $\lambda$ :

$$R = \frac{z_k^2 - z_m^2}{(k-m)\lambda}; \quad (7)$$

$$\lambda = \frac{z_k^2 - z_m^2}{(k-m)R}. \quad (8)$$

Микроскоп с осветителем – вертикальным иллиминатором для работы в отраженном свете, винтовой окулярный микрометр, плоско-выпуклая линза, черная плоская стеклянная пластинка, свето-фильтры.

### Описание установки для наблюдения колец Ньютона

Схематически установка для наблюдения колец Ньютона показана на рис.5. Источником света I служит лампа накаливания, свет от которой проходит через светофильтр 2 и падает на полупрозрачную пластинку 3 вертикального иллиминатора. После отражения от пластинки свет падает на линзу 5, которая расположена на черной стеклянной пластинке 6. Интерференционные кольца, образовавшиеся при отражении света от черной стеклянной пластинки и нижней поверхности линзы, наблюдаются через объектив 4 микроскопа. Наведение на резкость изображения колец производится винтами 7 и 8.

Для отсчета радиуса колец в верхнюю часть тубуса вставлен винтовой окулярный микрометр 9. В поле зрения винтового окулярного микрометра имеются: неподвижная цифровая шкала, перекрестие и биштрих. Перекрестие и биштрих могут перемещаться относительно цифровой шкалы с помощью барабана 10, шкала которого разделена на 100 делений. Полный оборот барабана соответствует перемещению перекрестия на одно деление шкалы окулярного микрометра. Следовательно, по барабану можно отсчитывать сотые доли деления шкалы.

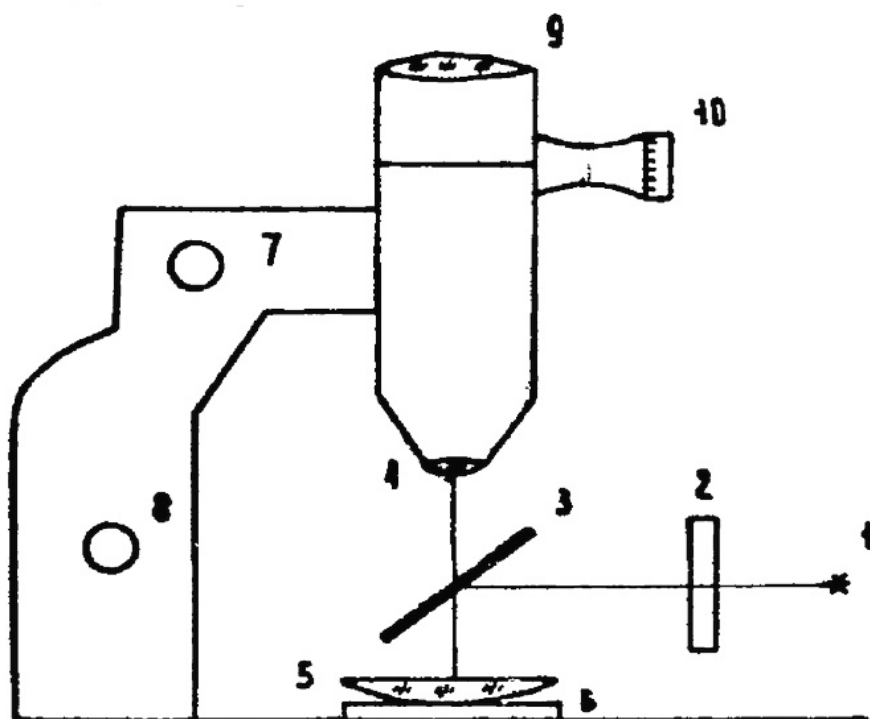


Рис.5

Задание I. Определение радиуса кривизны линзы по известной длине волны излучения.

1. Произвести наладку установки в белом свете (без светофильтра) и получить в поле зрения цветные интерференционные кольца.

Для этого поместить на столик микроскопа оправу "линза-пластинка". Включить осветитель и установить его так, чтобы лучи, отразившись от полупрозрачного зеркала, падали на систему "линза-пластинка" по нормали. Перемещая систему "линза-пластинка" по столику микроскопа, вывести интерференционную картину в середину поля зрения и вращением винтов 7 (грубая наводка) и 8 (точная) добиться резкой видимости интерференционных колец.

2. Ввести в осветитель красный светофильтр с известной длиной волны ( $\lambda = 0,63 \text{ мкм}$ ).

3. Пользуясь винтовым окулярным микрометром, измерить диаметр 6 – 8 темных интерференционных колец.

Одну из линий перекрестия подводят с помощью микрометрического винта 10 до соприкосновения с измеряемым кольцом слева от центра кольца. Производят отсчет по неподвижной шкале и барабану окулярного микрометра  $N'$ . Измерение повторяют три раза. Затем перемещают перекрестие до соприкосновения той же линии с измеряемым кольцом, но справа от центра кольца, и снимают отсчет по шкале и барабану  $N''$ . Эту операцию повторяют также 3 раза.

Таблица I

Номер кольца k	$N'$	$N'_{\text{ср}}$	$N''$	$N''_{\text{ср}}$	$r_k$ , мм	$r_k^2$ , мм

Данные измерения оформить в виде табл. I.

Радиусы интерференционных колец определяются на основании данных табл. I. по средним значениям  $N'_{\text{ср}}$  и  $N''_{\text{ср}}$  с помощью формулы

$$r_k = \frac{|N''_{\text{ср}} - N'_{\text{ср}}| \gamma}{2},$$

где  $\gamma$  – коэффициент, учитывающий увеличение микроскопа.

4. Используя формулу (7), рассчитать радиус кривизны линзы, комбинируя попарно радиусы интерференционных колец. В целях повышения точности результата рекомендуется комбинировать радиус интерференционного кольца с номером k с радиусом кольца с номером, в два раза меньшим ( $m = \frac{k}{2}$ ).

Результаты расчета оформить в виде табл. 2.



Номер кольца $k$	Номер кольца $m$	$z_k^2, \text{мм}^2$	$z_m^2, \text{мм}^2$	$z_k^2 - z_m^2$	$R_n, \text{м}$	$R_{\text{ср}}, \text{м}$

5. Оценить погрешность измерения  $R$ .

Задание 2. Определение длины волны света  $\lambda$ .

I. Заменить в осветителе красный светофильтр с известной длиной волны пропускания на светофильтр с неизвестной длиной волны пропускания.

2. Повторить все измерения согласно п.3 предыдущего задания.

3. Рассчитать длину волны  $\lambda$  по формуле (8). Результаты измерения и расчетов оформить аналогично заданию I.

4. Оценить погрешность измерения  $\lambda$ .

### Контрольные вопросы

1. В чем состоит явление интерференции?
2. Какие волны называются когерентными и как выполняется требование когерентности в данной работе?
3. Как связаны между собой разность хода и разность фаз?
4. Напишите условия интерференционных максимумов и минимумов.
5. Почему интерференционная картина в данной работе имеет вид колец?
6. Изменяются ли радиусы колец, если вместо воздуха между линзой и пластинкой ввести среду с другим показателем преломления?