

## Лабораторная работа №5, Евгений Павлов, группа РЭ-22

**Цель работы:** изучение интерференционных полос равной толщины в схеме колец Ньютона, определение радиуса кривизны линзы и длины световой волны.

**Принадлежности:** микроскоп МЕТ-3 с осветителем, плосковыпуклая линза, плоскопараллельная пластинка, набор светофильтров.

### **Краткая теория:**

#### *Интерференция в тонком клине*

Создания интерференционной картины световых волн от одного источника можно достичь путем амплитудного разделения каждого луча на границе двух сред. Такое разделение можно осуществить путем отражения лучей от поверхностей тонкого прозрачного слоя (рис.5.1).

Лучи 2 и 4 интерферируют между собой, являясь когерентными.

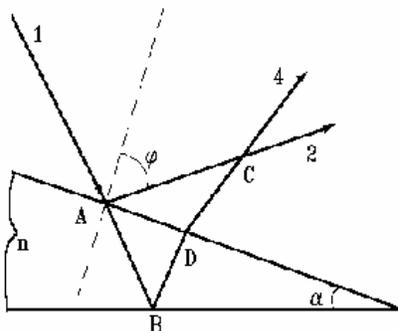


Рис.5.1. Ход лучей в тонком клине

При этом, если  $\alpha$  и  $\varphi$  являются малыми углами, то точка  $C$  расположена вблизи поверхности клина. Оптическая разность хода для этих лучей определяется в виде:

$$\Delta = (AB + BD) \cdot n \pm \frac{\lambda}{2}.$$

Полагая, что  $AC = BD = d$ , получим для разности хода следующее выражение:

$$\Delta = 2dn \pm \frac{\lambda}{2} \tag{5.1}$$

где  $d$  - толщина клина в точке наблюдения,  $n$  - показатель преломления материала клина. Дополни-

тельная разность хода  $\pm \frac{\lambda}{2}$  возникает в результате отражения волн от границы раздела двух сред.

Знак "+" или "-" берется в зависимости от того, где происходит указанное отражение. Знак "+" следует взять в том случае, когда отражение от более плотной среды происходит в точке В. "-" - когда отражение от более плотной среды происходит в точке А.

Условия интерференционных максимумов и минимумов имеют следующий вид:

$$2dn \pm \frac{\lambda}{2} = \pm m\lambda, \quad (5.2)$$

$$2dn \pm \frac{\lambda}{2} = \pm(2m+1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

где  $m = 0, 1, 2, \dots$  - порядок интерференционных максимумов и минимумов. У поверхности клина для толщин, удовлетворяющих условию (5.2), образуются интерференционные полосы (полосы равной толщины), параллельные ребру клина.

### Кольца Ньютона

Если наложить сферическую (плосковыпуклую для определенности) пластинку на плоскую (рис. 5.2а), то получим воздушный слой ( $n = 1$ ), а интерференционные полосы образуют концентрические окружности с темным пятном (в отраженном свете в центре образуется минимум) в середине - в месте контакта.

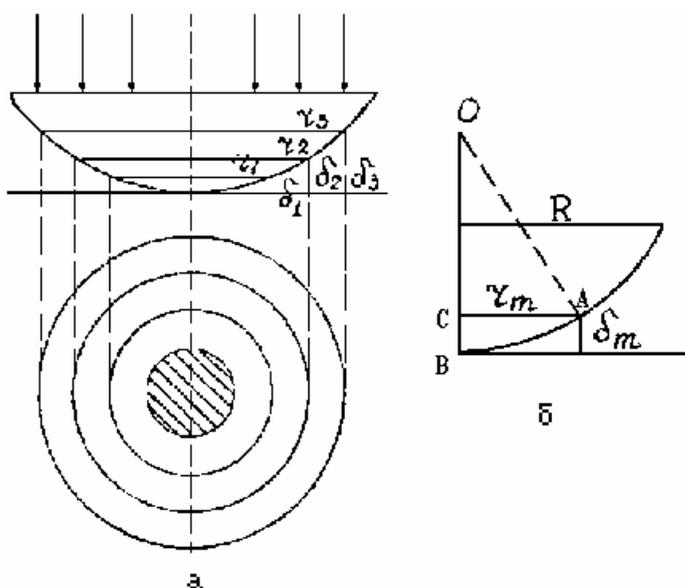


Рис.5.2.  
Схема колец Ньютона в отраженном свете

Произведем расчет размеров колец Ньютона  $r_m$ , используя формулу (5.1) и рис. 5.2. Полная оптическая разность хода равна (при  $n = 1$ ):

$$\Delta \approx 2\delta_m + \frac{\lambda}{2} \quad (5.3)$$

Из геометрии рис. 5.2б легко показать:

$$\delta_m \approx \frac{r_m^2}{2R} \quad (5.4)$$

где  $R = AO$  - радиус кривизны плосковыпуклой линзы.

Используя соотношения (5.3), (5.4), условия для максимумов и минимумов (5.2) можно записать в следующем виде:

$$r_m = \sqrt{R(2m-1) \cdot \frac{\lambda}{2}} \quad (\text{максимум}) \quad m = 1, 2, \dots; \quad (5.5)$$

$$r_n = \sqrt{R \cdot n \cdot \lambda} \quad (\text{минимум}) \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Формулы (5.5) позволяют исследовать явление интерференции в тонких пленках, а также определить радиус кривизны сферической линзы и длину волны излучения, которую пропускает неизвестный светофильтр. Однако из-за плохого контакта линзы с плоскопараллельной пластинкой использование формул (5.5) для целей, указанных выше, дает большие погрешности. Целесообразнее использовать следующее выражение:

$$R_{mn} = \frac{r_m^2 - r_n^2}{\lambda \cdot (m - n)} \quad (5.6)$$

### **Выполнение работы:**

Наблюдение и измерение колец Ньютона производили в отраженном свете с помощью микроскопа типа МЕТ-3, система подвижного столика которого позволяет довольно быстро отыскать кольца Ньютона. На столике была установлена стеклянная пластина, а на ней, напротив объектива, - исследуемая линза. Светофильтры были установлены на столик осветителя микроскопа. Цена деления окулярного микроскопа 0.01 мкм.

### Определение радиуса кривизны линзы

Вначале включили микроскоп и поместили на столике осветителя красный светофильтр, который выделяет из сплошного спектра излучения лампы накаливания часть спектра в области 630нм (№9). Затем нашли кольца Ньютона, добились их хорошей видимости и определили максимальный порядок наблюдаемых колец для используемого светофильтра. После этого произвели измерения диаметров четырех достаточно удаленных от центра темных колец, при этом измерения диаметра каждого кольца производили не менее 5 раз. Учли конечную толщину интерференционных темных колец и используя формулу (5.6), определили значения  $R$ , получаемые для различных комбинаций  $m$  и  $n$ . Сменив светофильтр 630нм на другой, который пропускает лучи с длиной волны 490нм (№5), и повторили измерения.

### *Измерения*

$\lambda=630$  нм

	1 измерение	2 измерение	3 измерение	4 измерение	5 измерение
5 порядок	0.46 мм	0.48 мм	0.485 мм	0.47 мм	0.48 мм
6 порядок	0.52 мм	0.51 мм	0.515 мм	0.55 мм	0.54 мм
7 порядок	0.57 мм	0.55 мм	0.56 мм	0.55 мм	0.57 мм
8 порядок	0.59 мм	0.61 мм	0.62 мм	0.60 мм	0.60 мм
9 порядок	0.62 мм	0.64 мм	0.63 мм	0.65 мм	0.64 мм

$\lambda=490$  нм

	1 измерение	2 измерение	3 измерение	4 измерение	5 измерение
3 порядок	0,35 мм	0,36 мм	0,36 мм	0,36 мм	0,36 мм
4 порядок	0,40 мм	0,40 мм	0,41 мм	0,40 мм	0,41 мм
5 порядок	0,44 мм	0,44 мм	0,45 мм	0,45 мм	0,45 мм
6 порядок	0,49 мм				
7 порядок	0,53 мм	0,53 мм	0,53 мм	0,52 мм	0,53 мм

### *Расчёты*

Расчёты проводились с помощью алгоритмизации вычислений в среде MathCAD. Получены результаты:

Для  $\lambda=630$  нм, в мм

82.705	69.821	73.646	70.981	56.938	69.117	67.072	81.295	72.14	62.984
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-------	--------

Для  $\lambda=490$  нм, в мм

72.196	76.147	73.847	72.857	73.453	74.618	72.121	72.947	70.221	72.196
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

$R_{630 \text{ ср}} = 70.67$  мм

$R_{490 \text{ ср}} = 73.16$  мм

*Погрешности*

$t_{\alpha, n} = 2.8$  (.95, 5)

$\Delta$  для  $\lambda = 630$  нм

0.013	0.022	0.013	0.014	0.014
-------	-------	-------	-------	-------

$E_{R,490} = 0.093, \Delta_{R,490} = 6.57$  мм

$\Delta$  для  $\lambda = 690$  нм

0.0056	0.0068	0.0069	0	0.0056
--------	--------	--------	---	--------

$E_{R,490} = 0.064, \Delta_{R,490} = 4.86$  мм

*Результаты*

**$R_{630} = 70.67 \pm 6.57$  мм,  $R_{630} = 73.16 \pm 4.86$  мм**

Определение длины волны пропускания неизвестного светофильтра

На столике осветителя поместили светофильтр №7 с неизвестной длиной волны, которую он пропускает.

Для расчета длины волны использовали формулу:

$$\lambda = \frac{r_m^2 - r_n^2}{R_{cp} \cdot (m - n)} \quad (5.7)$$

где  $R_{cp}$  - среднее значение радиуса кривизны линзы, полученное выше.

*Измерения*

	1 измерение	2 измерение	3 измерение	4 измерение	5 измерение
4 порядок	0.43 мм	0.44 мм	0.43 мм	0.42 мм	0.41 мм
5 порядок	0.46 мм	0.47 мм	0.46 мм	0.47 мм	0.46 мм
6 порядок	0.50 мм	0.50 мм	0.50 мм	0.51 мм	0.49 мм
7 порядок	0.55 мм	0.56 мм	0.55 мм	0.57 мм	0.54 мм
8 порядок	0.59 мм	0.60 мм	0.61 мм	0.59 мм	0.59 мм

*Расчёты*

В нм

438.568	444.3	542.223	563.252	450.031	594.051	604.814	738.07	682.205	626.34
---------	-------	---------	---------	---------	---------	---------	--------	---------	--------

$\lambda_{\text{ср}} = 568.39$  нм

### Погрешности

$\Delta$ , в нм

0.014	0.0069	0.0089	0.014	0.011
-------	--------	--------	-------	-------

$$E_{\lambda} = 0.03, \Delta_{\lambda} = 17.59 \text{ нм}$$

### Результаты

$$\lambda = 568.39 \pm 17.59 \text{ нм}$$

### Определение полосы пропускания светофильтров

Для каждого из трех светофильтров определили максимальный порядок наблюдаемых колец и получили следующий результат:

$\lambda$ , нм	630	586	490
N	12	10	10

Формула для расчета полосы пропускания светофильтра:

$$\Delta\lambda = \lambda/m \quad (5')$$

Затем мы рассчитали значения полос пропускания для 3-х данных светофильтров:

$\lambda$ , нм	630	586	490
$\Delta \lambda$ , нм	52.5	58.6	49

### **Вывод:**

После выполнения работы нами были получены следующие результаты: радиус кривизны линзы  $R = 71.92 \pm 6.57$  мм, длина волны пропускания неизвестного светофильтра  $\lambda = 568.39 \pm 17.59$  нм, а также были определены полосы пропускания светофильтров  $\Delta \lambda = 52.5$  нм,  $\Delta \lambda = 58.6$  нм,  $\Delta \lambda = 49$  нм для длин волн 630 нм, 586 нм, 480 нм соответственно.