

## Лабораторная работа №2

# Определение радиуса кривизны линзы с помощью колец Ньютона

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование интерференции света в тонких пленках на примере колец Ньютона. Определение радиуса кривизны линзы.

### ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Измерительный микроскоп с опак-иллюминатором, плосковыпуклая линза, пластинка из черного стекла.

### ОПИСАНИЕ ПРИБОРА

Опыт выполняется с помощью измерительного микроскопа. Микроскоп оснащен набором объективов с разным увеличением.

На столике микроскопа помещается держатель с полированной пластинкой из черного стекла, к которой прижимается исследуемая линза.

### КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

**Интерференцией света** называется явление усиления или ослабления амплитуды результирующей волны при наложении в пространстве двух или более *когерентных* волн.

Различают два вида интерференционных полос: полосы *равного наклона* и полосы *равной толщины*.

Если на плоскопараллельную пластинку, сделанную из однородного материала, падают лучи света по различным направлениям, то разность хода волн при интерференции будет зависеть от углов падения. Для всех лучей, которые составляют с поверхностью пластинки одинаковые углы падения, разность хода волн при интерференции будет одинакова.

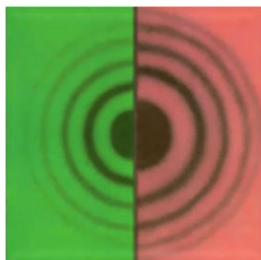
В этом случае интерференционные полосы, которые образуются в фокальной плоскости линзы, называются полосами **равного наклона**. Для их наблюдения прибор устанавливается на бесконечность; поэтому считают, что *полосы равного наклона локализованы в бесконечности*.

Если пластинка имеет различную толщину (например, клиновидная), при падении на нее параллельного пучка лучей разность хода волн будет зависеть от толщины. Для наблюдения интерференционной картины необходимо сфокусировать прибор на поверхность пластинки. Для всех участков пластинки, у которых толщина имеет одно и то же значение, условие образования максимума или минимума будет одинаковым.

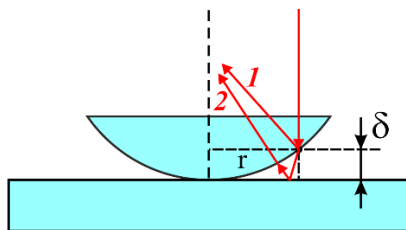
Поэтому линии максимумов и минимумов в интерференционной картине будут проходить по точкам, соответствующим равным толщинам пластинки. Такие интерференционные полосы называются **полосами равной толщины**; их считают *локализованными на поверхности пластинки*.

### Кольца Ньютона

В данной работе используются полосы равной толщины, которые возникают в результате интерференции волн, отраженных от границ прослойки между сферической поверхностью линзы и поверхностью плоской пластинки. Интерференционные полосы, возникающие в такой системе, имеют вид концентрических окружностей (колец); они называются **кольцами Ньютона**.



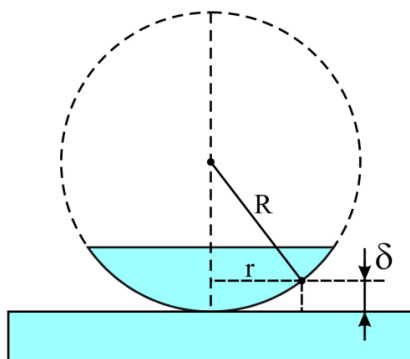
**Рис. 1.** Кольца Ньютона зеленом (слева) и красном свете (справа)



**Рис. 2.** Образование колец Ньютона

В нашей установке кольца образуются при интерференции световых волн, отраженных от границ тонкой воздушной прослойки, заключенной между выпуклой поверхностью линзы и плоской стеклянной пластинкой (**рис.2**). Для освещения используется пучок монохроматических лучей, близкий к параллельному и падающий приблизительно нормально поверхности пластинки. Наблюдение ведется в **отраженном свете**.

Рассчитаем радиусы колец. При нормальном падении лучей и большом радиусе кривизны линзы можно пренебречь различными углами падения лучей на сферическую поверхность линзы.



**Рис. 3.** Определение радиуса кривизны линзы

Тогда разность хода волн будет определяться толщиной зазора  $\delta$  (**рис.3**):

$$\Delta = 2\delta n, \tag{1}$$

Из рисунка имеем:

$$r_0^2 = R^2 - (R - \delta)^2 \quad (2)$$

$$\delta = \frac{r_0^2}{2R} \quad (3)$$

Необходимо учесть, что при отражении от границы раздела стекло-воздух фаза вектора  $E$  не изменяется; при отражении от границы воздух-стекло изменяется на  $180^\circ$ .

Поэтому разность хода интерферирующих лучей в *отраженном* свете (для  $n = 1$ ) будет равна:

$$\Delta_1 = 2\delta + \frac{\lambda}{2} = \frac{r_0^2}{R} + \frac{\lambda}{2} \quad (4)$$

**Темные кольца** (минимумы освещенности) образуются при условии

$$\Delta_1 = (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

**Светлые кольца** образуются при условии

$$\Delta_1 = 2m \frac{\lambda}{2} \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

Из (5) и (6) с учетом (4) находятся радиусы темных ( $r_{\text{темн}}^{\text{отраж}}$ ) и светлых колец ( $r_{\text{светл}}^{\text{отраж}}$ ):

$$r_{\text{темн}}^{\text{отраж}} = \sqrt{mR\lambda} \quad (7)$$

$$r_{\text{светл}}^{\text{отраж}} = \sqrt{(2m - 1)R \frac{\lambda}{2}} \quad (8)$$

Измеряя радиусы темных (или светлых) колец и зная длину волны, можно рассчитать радиус кривизны сферической поверхности линзы.

### Определение радиуса кривизны линзы

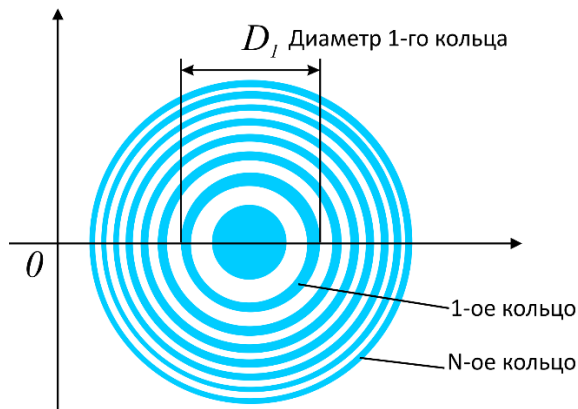
При определении радиуса кривизны линзы, удобно использовать яркую зеленую линию ртути ( $\lambda = 546\text{нм}$ ). Опыт рекомендуется проводить в следующем порядке.

По разности показаний линейной шкалы определяют диаметры, а затем и радиусы темных колец.

Для нахождения радиуса кривизны воспользуемся выражением (7), откуда

$$R = \frac{r_k^2}{k\lambda}, \quad (9)$$

где  $r_k^2$  – радиус k-го темного кольца,  
 $\lambda$  – длина волны света ( $\lambda = 546\text{нм}$ ),  
 $k$  – порядковый спектр кольца.



**Рис. 4.** Измерение радиуса колец

### ХОД РАБОТЫ

1. Включите лампу осветителя и получите в объективе микроскопа картину колец Ньютона (**рис. 4**).
2. Измерьте диаметр  $D_k$  **первого** темного кольца ( $k = 1$ ), затем для второго ( $k = 2$ ), третьего ( $k = 3$ ) и т.д. до **десятого** кольца ( $k = 10$ ).
3. Переведите деления шкалы в миллиметры, умножив значения делений шкалы на **цену деления** линейки в объективе (см. **Таблица 1**).

**Таблица 1**

Объектив	0,6	1	2	4	7
Цена деления	0,17 мм	0,1 мм	0,05 мм	0,025 мм	0,014 мм

4. Полученные данные занести в **Таблицу 2**.
5. Пользуясь полученными данными, подставляя в формулу (9) подсчитать радиус кривизны.
6. Определить погрешности измерения радиуса кривизны линз  $\Delta R$  и  $\varepsilon_R$ .

$$\Delta R = |R_{\text{сред}} - R|, \quad \varepsilon_R = \frac{\Delta R}{R_{\text{сред}}} 100\%$$

7. Сделать вывод.

**Таблица 2**

$k$	$D_k, \text{ м}$	$r_k, \text{ м}$	$\lambda, \text{ м}$	$R, \text{ м}$	$\Delta R, \text{ м}$	$\varepsilon_R, \%$
1						
2						
3						
...						
10						
Среднее значение						

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что собой представляет свет?
2. Что такое электромагнитные волны?
3. Что называется интерференцией волн, и при каких условиях наблюдается это явление?
4. Каковы условия возникновения максимумов и минимумов колебаний?
5. Что называется полосами равного наклона и равной толщины?
6. Почему кольца Ньютона – это линии равной толщины?
7. Объясните механизм возникновения колец Ньютона.
8. Выведите формулу радиусов светлых и темных колец Ньютона при наблюдении в отраженном свете.
9. Запишите формулы радиусов темных и светлых колец в проходящем свете.
10. Практические применения интерференции.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Савельев Д.В. Общий курс физики. В 5 т. Т.IV. Оптика. – М.: «ФИЗМАТ-ЛИТ»; Изд-во МФТИ, 2002, – 792 с.
2. Лозовский В.Н. Курс физики. Т.1. – Санкт-Петербург. – 2001.
3. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. – М.: «Высшая школа». – 1999.
4. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок (пер. с англ.). – М.: Мир, 1985. – 272 с.