

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа электроники, фотоники и молекулярной физики

# Лабораторная работа 4.2.1

## Кольца Ньютона

Салтыкова Дарья

Б04-105

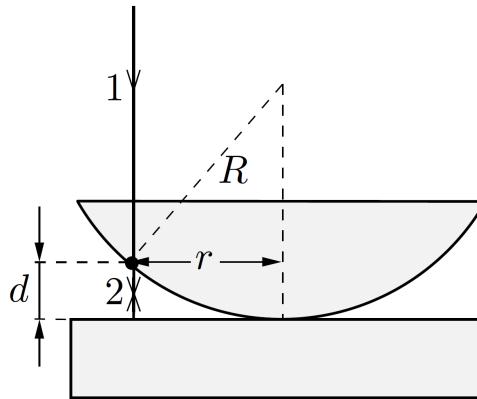
Долгопрудный 2023

# 1 Введение

**Цель работы:** познакомиться с явлением интерференции в тонких плёнках (полосы равной толщины) на примере колец Ньютона и с методикой интерференционных измерений кривизны стеклянной поверхности.

**В работе используются:** измерительный микроскоп с опак-иллюминатором, плоско-выпуклая линза; пластинка из чёрного стекла, ртутная лампа типа ДРШ, щель, линзы, призма прямого зрения, объектная шкала.

## 2 Теоретические сведения



Этот классический опыт используется для определения радиуса кривизны сферических поверхностей линз. В этом опыте наблюдается интерференция волн, отражённых от границ тонкой воздушной прослойки, образованной сферической поверхностью линзы и плоской стеклянной пластиной. При нормальном падении света интерференционные полосы локализованы на сферической поверхности и являются полосами равной толщины.

Геометрическая разность хода между интерферирующими лучами равна удвоенной толщине воздушного зазора  $2d$  в данном месте. Для точки на сферической поверхности, находящейся на расстоянии  $r$  от оси системы, имеем  $r^2 = R^2 - (R - d)^2 = 2Rd - d^2$ , где  $R$  — радиус кривизны сферической поверхности.

При  $R \gg d$  получим  $d = r^2/2R$ . С учётом изменения фазы на  $\pi$  при отражении волны от оптически более плотной среды (на границе воздух-стекло) получим оптическую разность хода интерферирующих лучей:

$$\Delta = \frac{\lambda}{2} + 2d = \frac{r^2}{2R} + \frac{\lambda}{2}$$

Из условия интерференционного минимума  $\Delta = \frac{(2m+1)\lambda}{2}$ ,  $m = 0, 1, 2, \dots$  получим радиусы темных колец  $r_m$ , а из аналогичного условия максимума  $\Delta = m\lambda$  радиусы светлых  $r'_m$ :

$$r_m = \sqrt{m\lambda R}, \quad r'_m = \sqrt{\frac{(2m-1)m\lambda R}{2}}$$

## 3 Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки приведена на рисунке. Опыт выполняется с помощью измерительного микроскопа. На столик микроскопа помещается держатель с полированной пла-

стинкой из чёрного стекла. На пластинке лежит исследуемая линза.

Источником света служит ртутная лампа, находящаяся в защитном кожухе. Для получения монохроматического света применяется призмный монохроматор, состоящий из конденсора, коллиматора (щель  $S$  и объектив) и призмы прямого зрения. Эти устройства с помощью рейтеров располагаются на оптической скамье. Свет от монохроматора попадает на расположенный между объективом и окуляром микроскопа опак-иллюминатор (ОИ) специальное устройство, служащее для освещения объекта при работе в отражённом свете. Внутри опак-иллюминатора находится полупрозрачная стеклянная пластинка  $P$ , наклоненная под углом  $45^\circ$  к оптической оси микроскопа. Свет частично отражается от этой пластинки, проходит через объектив микроскопа и попадает на исследуемый объект. Пластинка может поворачиваться вокруг горизонтальной оси  $X$ , опак-иллюминатор вокруг вертикальной оси.

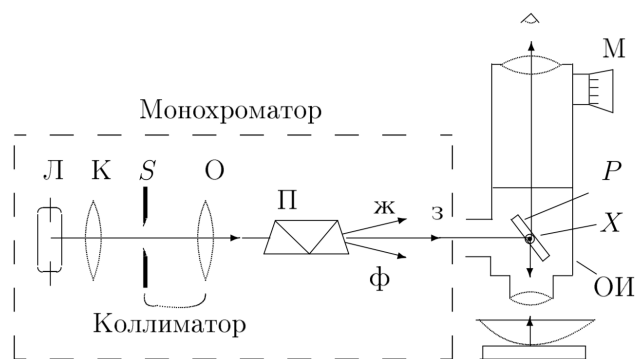


Рис. 1: Экспериментальная установка

Столик микроскопа может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях помощью винтов препаратопроводителя. Отсчетный крест окулярной шкалы перемещается перпендикулярно оптической оси с помощью микрометрического винта.

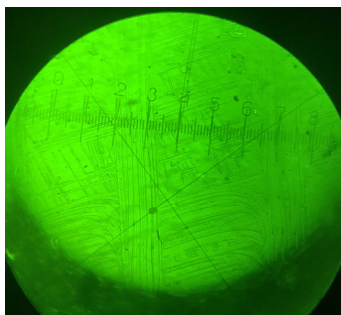
Оптическая схема монохроматора позволяет получить в плоскости входного окна опак-иллюминатора достаточно хорошо разделённые линии спектра ртутной лампы. Изображение щели  $S$  фокусируется на поверхность линзы объективом микроскопа, т.е. точка источника и точка наблюдения спектра совпадают. Интерференционная картина не зависит от показателя преломления линзы и определяется величиной зазора между линзой и пластинкой (кольца равной толщины).

Сначала микроскоп настраивается на кольца Ньютона в белом свете (свете ртутной лампы), затем при помощи монохроматора выделить из спектра яркую зелёную линию и провести измерения диаметров колец в монохроматическом свете.

## 4 Ход работы

### 4.1 Измерение диаметров колец

1. Занесем в таблицу зависимость радиусов колец от номера (для светлых и темных колец).
2. Проведем калибровку окулярной шкалы и переведем измеренные величины в реальную шкалу: 1 деление окулярной шкалы соответствует 9,75 мкм.



темные				
$m$	$r_m$ , дел	$r_m$ , мкм	$r_m^2$ , мкм <sup>2</sup>	$\sigma_{r_m^2}$ , мкм <sup>2</sup>
1	0,89	8,7	75,3	2,8
2	1,2	11,7	136,9	2,8
3	1,51	14,7	216,8	2,8
4	1,75	17,1	291,1	2,8
5	1,95	19,0	361,5	2,8
6	2,17	21,2	447,6	2,8
7	2,345	22,9	522,8	2,8
8	2,47	24,1	580,0	3,4
9	2,65	25,8	667,6	3,4
10	2,81	27,4	750,6	3,4
11	2,95	28,8	827,3	3,4
12	3,08	30,0	901,8	3,4

светлые				
$m$	$r_m$ , дел	$r_m$ , мкм	$r_m^2$ , мкм <sup>2</sup>	$\sigma_{r_m^2}$ , мкм <sup>2</sup>
1	3,77	6,7	45,3	2,8
2	3,4	10,3	106,8	2,8
3	3,08	13,5	181,0	2,8
4	2,825	15,9	254,1	2,8
5	2,62	17,9	321,8	2,8
6	2,405	20,0	401,5	2,8
7	2,21	21,9	481,3	2,8
8	2,04	23,6	556,7	3,4
9	1,885	25,1	630,3	3,4
10	1,73	26,6	708,5	3,4
11	1,59	28,0	783,0	3,4
12	1,455	29,3	858,4	3,4

3. Построим график  $r_m^2(m)$  (см. ниже).

По наклону прямых найдем радиус кривизны линзы  $R = 1,30 \pm 0,01$  см.

4. Найдем фокусное расстояние линзы и вычислим показатель преломления стекла по формуле  $n = \frac{R}{F} + 1$ .

$$F = 2,3 \text{ см}$$

$$n = 1,567.$$

## 4.2 Наблюдение биений

Наблюдаем биения, между центрами четких систем разность  $\Delta m = 16$  полос. Найдем разность длин волн для желтой и зеленой линий Hg ( $\lambda_3 = 546$  нм,  $\lambda_{ж} = 578$  нм):

$$(\Delta m + 1)\lambda_3 = \Delta m\lambda_{ж}$$

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_3}{\Delta m} \approx 34 \text{ нм.}$$

## 5 Вывод

В ходе работы:

- определен радиус кривизны линзы  $R = 1,30 \pm 0,01$  см;
- вычислен показатель преломления стекла линзы ( $n = 1,567$ ). Такой показатель преломления соответствует баритовому крону (БК-10);
- найдена разность длин волн для желтой и зеленой линий Hg:  $\Delta\lambda \approx 34$  нм. Это значение близко к табличному  $\Delta\lambda_{\text{табл}} = 33$  нм.

## 6 График

