

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ)
ФИЗТЕХ-ШКОЛА ЭЛЕКТРОНИКИ, ФОТОНИКИ
И МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

Лабораторная работа № 4.2.1

Кольца Ньютона

выполнил студент 2 курса
группы Б04-006
Белостоцкий Артемий

Долгопрудный, 2022 г.

Цель работы

Познакомиться с явлением интерференции в тонких пленках 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 черного стекла
- ртутная лампа типа ДРШ
- щель
- линзы
- призма прямого зрения
- объектная шкала

Теоретическое введение

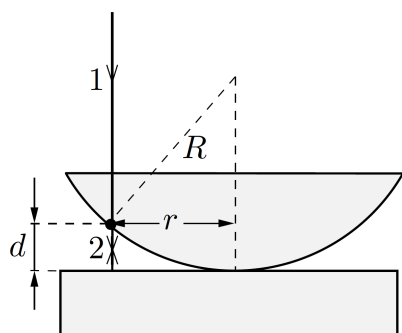


Рис. 1: Экспериментальная установка

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 (рис. 1) 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 (рис. 1).

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

$$\Delta = \frac{\lambda}{2} + 2d = \frac{r^2}{2R} + \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

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 :

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

Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 2. Опыт выполняется с помощью измерительного микроскопа. На столик микроскопа помещается держатель с полированной пластинкой из чёрного стекла. На пластинке лежит исследуемая линза.

Источником света служит ртутная лампа, находящаяся в защитном кожухе. Для получения монохроматического света применяется призменный монохроматор, состоящий из конденсора К, коллиматора (щель S и объектив О) и призмы прямого зрения П. 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 Р, наклоненная под углом 45° 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 Х, опак-иллюминатор вокруг вертикальной оси.

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

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.

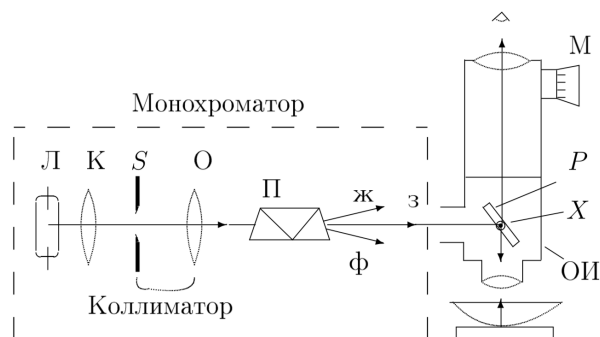


Рис. 2: Экспериментальная установка

Ход работы

Измерение диаметров колец

Включим ртутную лампу и настроим микроскоп на кольца Ньютона в зеленом свете. ($\lambda = 546\text{нм}$). Перемещая перекрестие, будем последовательно устанавливать его на середины темных и светлых колец и записывать соответствующие показания окуляра. Учтем, что для начального положения перекрестия — $r_0 = 6,92$ дел. Полученные данные занесем в Таблицу 1:

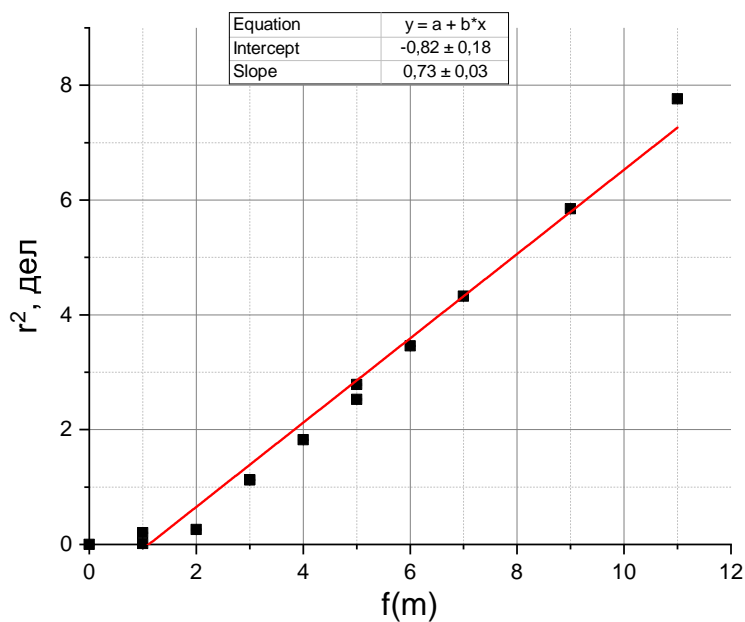
Таблица 1

r_m , дел	m	r'_m , дел	$2m - 1$
0,12	1	0,32	1
0,51	2	0,75	3
1,06	3	1,18	5
1,35	4	1,47	7
1,59	5	1,71	9
1,86	6	1,97	11

Учитывая систематическую погрешность микроскопа $\sigma_{r_m} = \sigma_{r'_m} = 0,01$ дел, построим график зависимости $r^2(f(m))$. Где

$$f(m) = \begin{cases} 2m - 1, & \text{для светлых колец} \\ m, & \text{для темных колец} \end{cases}$$

$$r^2 = \begin{cases} 2r_m'^2, & \text{для светлых колец} \\ r_m^2, & \text{для темных колец} \end{cases}$$

Рис. 3: Зависимость $r^2(f(m))$

По МНК найдем коэффициент наклона графика:

$$k = \lambda R \approx 0,73 \pm 0,03 \text{ дел}^2$$

Зная длину волну зеленой линии Hg: $\lambda_3 = 546 \text{ нм}$ и цену деления микроскопа $\alpha = 0,1 \frac{\text{мм}}{\text{дел}}$ рассчитаем радиус кривизны линзы R:

$$R = \frac{k\alpha^2}{\lambda_3} \approx 1,34 \text{ см}$$

$$\sigma_R = R \frac{\sigma_k}{k} \approx 0,05 \text{ см}$$

Окончательно:

$$R = 1,34 \pm 0,05 \text{ см}$$

Наблюдение «Биений»

Осветим входное окно опак-иллюминатора сразу двумя спектральными компонентами ртути (желтой и зеленой). Получим картину биений и просчитаем количество темных полос от центра одной четкой системы полос до центра соседней четкой системы — $\Delta m = 16$. Отсюда находим

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

Выводы

1. В результате работы был получен радиус кривизны линзы $R = 1,34 \pm 0,05 \text{ см}$
2. Также, была оценена разность длин волн желтой и зеленой спектральных компонент Hg $\Delta\lambda \approx 34 \text{ нм}$, которая хорошо соотносится с теоретическим значением $\Delta\lambda = 33 \text{ нм}$