

Лабораторная работа 4.2.1

Кольца Ньютона

Нехаев Александр
654 группа

1 апреля 2018 г.

Содержание

1. Введение

Цель работы: ознакомление с явлением интерференции в тонких пленках (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 черного стекла; ртутная лампа ПРК-4; щель; линзы; призма прямого зрения; объектная шкала.

В нашей установке кольца Ньютона образуются при интерференции световых волн, отраженных от границ тонкой воздушной прослойки, заключенной между выпуклой поверхностью линзы и плоской стеклянной пластинкой (рис. ??). Наблюдение ведется в отраженном свете.

Рассчитаем размер колец Ньютона. Пусть сверху на линзу падает монохроматический параллельный пучок лучей. При вычислении разности хода можно пренебречь небольшими наклонами лучей, проходящих в тонком воздушном зазоре. Геометрическая разность хода между интерферирующими лучами равна, очевидно, $2d$, где d — толщина воздушного зазора в данном месте.

Выразим зависимость d от расстояния r до радиуса, проходящего через точку соприкосновения линзы и пластинки. Из рис. ?? имеем

$$r^2 = R^2 - (R - d)^2 = 2Rd - d^2,$$

где R — радиус кривизны выпуклой поверхности линзы. Принимая во внимание, что $2R \gg d$, получим

$$d = \frac{r^2}{2R}. \quad (1)$$

При вычислении полной разности хода нужно учесть изменение фазы световой волны при отражении от границы стекло-воздух и воздух-стекло. Как известно, для светового (электрического) вектора отражение от оптически более плотной среды происходит с изменением фазы на π . Свет, отраженный от границы стекло—воздух, по сравнению со светом, отраженным от границы воздух—стекло, приобретает, таким образом, дополнительный фазовый сдвиг на π , что соответствует разности хода $\lambda/2$. Полная разность хода Δ равна

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

Линии постоянной разности хода представляют собой концентрические кольца с центром в точке соприкосновения. При заданном значении длины волны λ разность хода Δ определяется толщиной воздушного зазора; интерференционные полосы являются, таким образом, линиями равной толщины.

Известно, что линии равной толщины для точечного источника света не имеют области локализации: их можно наблюдать в любом месте пространства, где пересекаются лучи, отражённые от двух поверхностей. Для протяжённого источника линии равной толщины локализованы на поверхности клина (в нашем случае на поверхности воздушной прослойки). Это означает, что при освещении системы не вполне параллельным пучком света (что практически всегда имеет место) интерференционные полосы оказываются наиболее четкими при фокусировке на верхнюю поверхность воздушного клина.

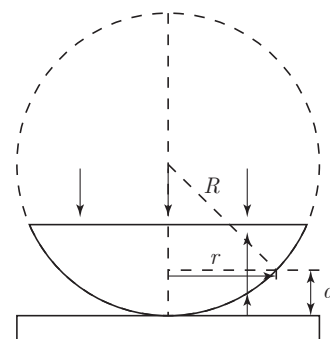


Рис. 1: К расчёту колец Ньютона

Запишем условие минимума освещенности в интерференционной картине:

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

Принимая во внимание (??), получим для радиусов r_m темных колец

$$r_m = \sqrt{mR\lambda}. \quad (4)$$

Аналогичным образом для радиусов r'_m светлых колец найдем

$$r'_m = \sqrt{(2m - 1) R\lambda/2}. \quad (5)$$

Измеряя радиусы светлых или темных колец, с помощью (??) и (??) можно определить λ , если известен радиус R кривизны линзы, или, наоборот, по известному значению λ найти R .

2. Экспериментальная установка

Опыт выполняется с помощью измерительного микроскопа помещается держатель с полированной пластинкой из черного стекла (рис. ??). На пластинке лежит исследуемая линза.

Между окуляром и объективом микроскопа расположен опак-иллюминатор — специальное устройство, служащее для освещения объекта при работе в отраженном свете. Внутри опак-иллюминатора находится полупрозрачная стеклянная пластинка P , наклоненная под углом 45° к оптической оси микроскопа. Свет от расположенного сбоку источника частично отражается от этой пластинки, проходит через объектив микроскопа и попадает на исследуемый объект. Пластинка может поворачиваться вокруг горизонтальной оси x .

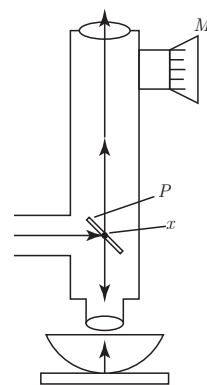


Рис. 2: Освещение линзы с помощью опак-иллюминатора

Столик микроскопа может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях при помощи специальных винтов — препаратоводителей,

При измерениях окуляр перемещается перпендикулярно оптической оси с помощью микрометрического винта M .

Источником света служит ртутная лампа (типа ПРК-4), находящаяся в защитном кожухе. Для монохроматизации света (для выделения одной или нескольких спектральных линий, используемых для освещения) применяется призмный монохроматор (рис. ??), состоящий из конденсатора K , щели S , объектива O и призмы прямого зрения Π . Все эти устройства с помощью рейтеров располагаются на оптической скамье.

Оптическая система позволяет получить в плоскости входного окна опак-иллюминатора достаточно хорошо разделённые линии спектра ртутной лампы.

Рекомендуется сначала настроить микроскоп на кольца Ньютона в белом свете (свете ртутной лампы), затем пи помощи монохроматора выделить из ртутного спектра яркую зелёную линию и провести измерения диаметров колец в монохроматическом свете.

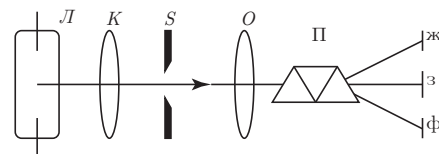


Рис. 3: Схема устройства монохроматора

3. Ход работы

- 1) Включим ртутную лампу и настроим микроскоп на кольца Ньютона в белом свете.
- 2) Настроим монохроматор, фокусируя на входного окне опак-иллюминатора изображение зеленой линии ртути.
- 3) Вращая окулярный микрометрический винт, убедимся, что перекрестие проходит через центр тёмного пятна и что поле зрения освещено симметрично слева и справа от центра.

Определим координаты диаметров тёмных и светлых колец. Результаты измерений занесем в таблицу ?? (темные пятна соответствуют темному фону):

Слева от пятна	Справа от пятна
0.23	5.38
0.31	5.32
0.40	5.23
0.48	5.14
0.56	5.04
0.67	4.99
0.75	4.85
0.86	4.76
0.96	4.62
1.05	4.49
1.18	4.40
1.32	4.26
1.48	4.10
1.64	3.92
1.84	3.76
2.15	3.50

Таблица 1: Координаты диаметров темных и светлых колец.

- 4) Оценим диаметр пятна соприкосновения линзы со стеклянной пластинкой.

$$d = 3.27 - 2.39 = 0.88 \text{ дел.}$$

- 5) Проведем наблюдение биений для жёлтой и зелёной линий, оценим разность длин волн и сопоставим результат с табличным.

Зарегистрировали $m = 16$ колец для зеленой спектральной линии. Тогда

$$m = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}, \quad \Delta\lambda = \frac{\lambda}{m} = \frac{546}{16} = 34.125 \text{ нм.}$$

Спектральные линии ртути желтого и зеленого цветов соответственно имеют длины волн $\lambda_{\text{жел}} = 579 \text{ нм}$, $\lambda_{\text{зел}} = 546 \text{ нм}$. Тогда $\Delta\lambda = 33 \text{ нм}$, что близко к полученному значению.

- 6) Прокалибруем окулярную шкалу, используя эталонную объективную шкалу. Объектная шкала размером 1 мм разбита на 100 делений. Между делениями "2" и "3" окулярной шкалы 9 ± 0.5 делений объектной шкалы. Значит цена одного деления окулярной шкалы равно $\frac{(1 \pm 0.5) \text{ мм}}{100} \cdot 9 = (9.0 \pm 0.05) \cdot 10^{-2} \text{ мм}$.

- 7) Рассчитаем радиусы тёмных и светлых колец и построим графики зависимости r_m^2 и $(r'_m)^2$ от номера кольца m .

Координата центра пятна: $\frac{3.27-2.39}{2} + 2.39 = (2.830 \pm 0.005)$ дел. Формула для расчета r_m^2 имеет вид:

$$r_m^2 = \frac{((x_1 - x_c) \cdot a)^2 + ((x_2 - x_c) \cdot a)^2}{2},$$

где x_1 — левая координата кольца, x_2 — правая координата кольца, x_c — координата центра пятна, a — цена деления объективной шкалы.

m	$r_m^2 \cdot 10^{-2} \text{ мм}^2$	$\sigma r_m^2 \cdot 10^{-2} \text{ мм}^2$	$(r'_m)^2 \cdot 10^{-2} \text{ мм}^2$	$\sigma (r'_m)^2 \cdot 10^{-2} \text{ мм}^2$
1	0.747	0.023	0.369	0.005
2	1.391	0.042	1.054	0.046
3	2.100	0.052	1.751	0.047
4	2.713	0.059	2.399	0.083
5	3.404	0.050	3.080	0.031
6	4.064	0.054	3.779	0.005
7	4.724	0.029	4.397	0.038
8	5.371	0.052	5.082	0.030

Таблица 2: Квадраты радиусов темных и светлых колец.

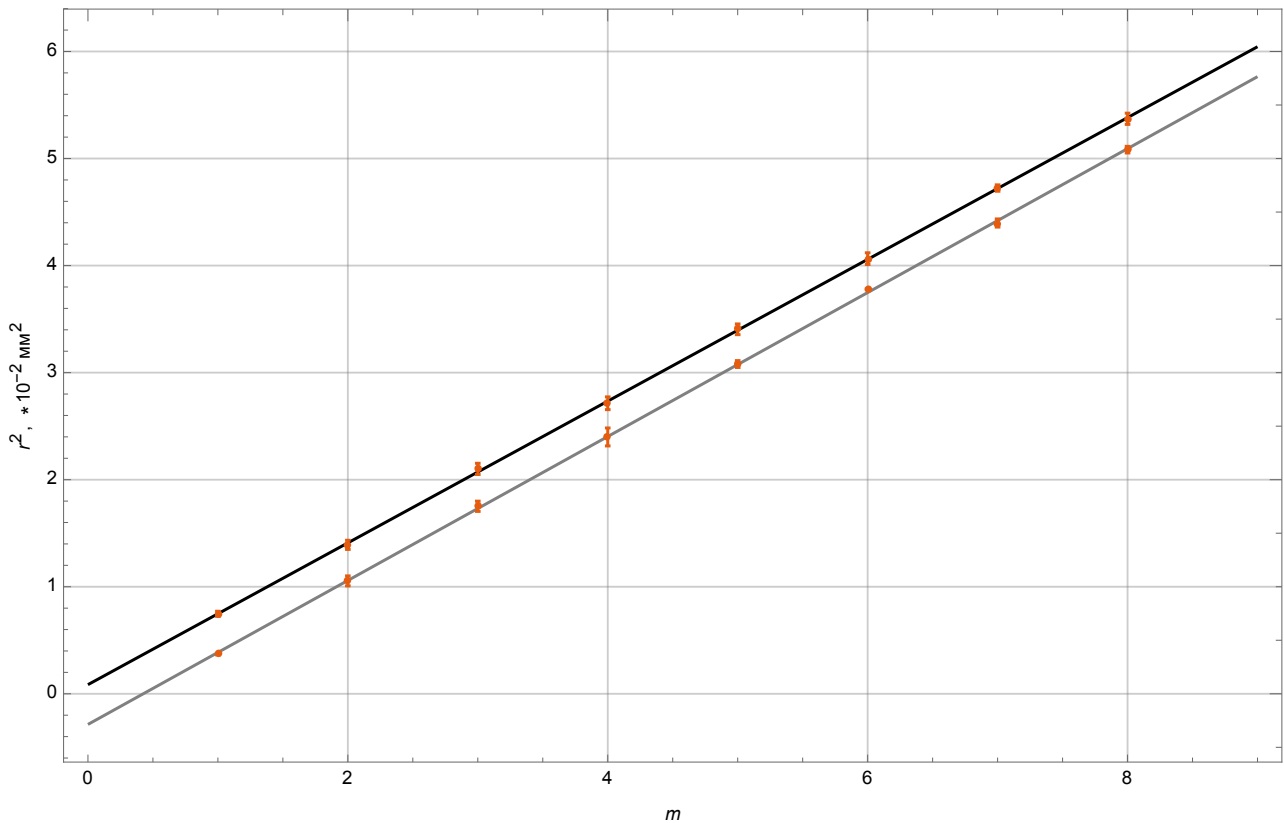


Рис. 4: График зависимости r^2 от номера кольца для темных и светлых колец.

По графику определим наклон прямых:

$$y = 0.662x + 0.085, \quad y = 0.672x - 0.286$$

Для линии темных колец: $\tan \alpha_1 = 0.662 \pm 0.003$, для светлых: $\tan \alpha_2 = 0.672 \pm 0.003$.

Из формул (??) и (??) находим, что радиус линзы через темные кольца:

$$R_{\text{ч}} = \frac{r_m^2}{m\lambda} = \frac{\tan \alpha_1}{\lambda} = \frac{0.662 \cdot 10^{-2} \text{ мм}^2}{546 \text{ нм}} = (12.13 \pm 0.05) \text{ мм}.$$

$$R_{\text{с}} = \frac{(r'_m)^2}{(2m-1)\lambda} = \frac{\tan \alpha_2}{\lambda} = \frac{0.672 \cdot 10^{-2} \text{ мм}^2}{546 \text{ нм}} = (12.31 \pm 0.05) \text{ мм}.$$

Усредняя полученные значения получим

$$R = (12.216 \pm 0.104) \text{ мм}.$$

График для темных колец проходит через начало координат, следовательно размытия нет.

4. Вывод

Ознакомились с явлением интерференции в тонких пленках на примере колец Ньютона и с методикой интерференционных измерений кривизны стеклянной поверхности. Смогли рассчитать радиус кривизны линзы $R = (12.216 \pm 0.104) \text{ мм}$.