

## Лабораторная работа 4.2.1 (Кольца Ньютона)

Астафуров Евгений Б05-812

Московский Физико-Технический Институт (Государственный Университет).

(Дата: 11 марта 2020 г.)

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

**В работе используются:** измерительный микроскоп с опак-иллюминатором; плосковыпуклая линза; пластинка из черного стекла; ртутная лампа ДРШ; щель; линзы; призма прямоугольного зрения, объектная шкала.

### I. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

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.

Линии разности хода представляют собой концентрические кольца с центром в точке соприкосновения. Радиусы темных и светлых колец определяются формулами:

$$r_m = \sqrt{m\lambda R}, \quad (1)$$

$$r_m = \sqrt{(2m-1)m\lambda R/2}, \quad (2)$$

соответственно. Для протяженного источника линии равной толщины локализованы на поверхности линзы, если пластинка лежит на линзе, и вблизи поверхности линзы, если линза лежит на пластинке, как в нашем случае. Наблюдение ведется в отраженном свете.

### II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

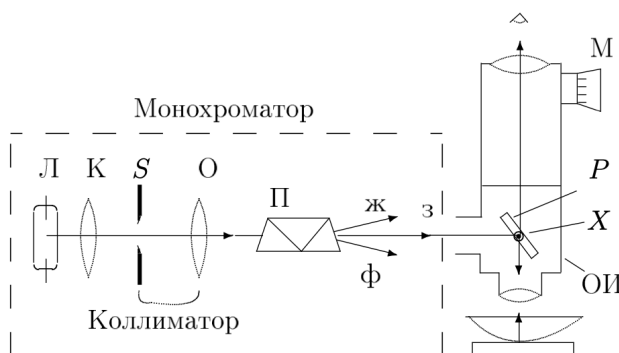


Рис. 1. ВАХ стабилизатора с последовательно включенным резистором

Схема экспериментальной установки изображена на рис. 1. Опыт выполняется с помощью измерительного микроскопа. На столик микроскопа помещается держатель с полированной пластинкой из черного стекла. На пластинке лежит исследуемая линза.

Источником света служит ртутная лампа, находящаяся в защитном кожухе. Для получения монохроматического света применяется призмный монохроматор, состоящий из конденсатора  $K$ , коллиматора (щель  $S$  и объектив  $O$ ) и призмы прямого зрения  $\Pi$ . Эти устройства с помощью рейтеров располагаются на оптической скамье. Свет от монохроматора падает на расположенный между объективом и окуляром микроскопа опак-иллюминатор (ОИ — специальное устройство, служащее для освещения объекта при отраженном 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, опак-иллюминатор — вокруг вертикальной.

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

Оптическая схема монохроматора позволяет получить в плоскости входного опак-иллюминатора достаточно хорошо разделенные линии спектра ртутной лампы. Изображение щели  $S$  фокусируется на поверхность линзы объектива микроскопа, и в том же месте находится плоскость наблюдения микроскопа, т.е. точка источника и точка наблюдения интерференции совпадают. Карта интерференции, как и в случае расположения пластинки сверху, так и в данном случае не зависит от коэффициента преломления линзы и определяется величиной зазора между нижней поверхностью линзы и стеклянной пластинкой.

Рекомендуется сначала настроить микроскоп на

кольца Ньютона в белом свете (свете ртутной лампы), а затем после выделения монохроматором зеленой линии провести измерения в монохроматическом свете.

### III. КОЛЬЦА НЬЮТОНА

Этот классический опыт используется для определения радиуса кривизны сферических поверхностей линз. В этом опыте наблюдается интерференция волн, отраженных от границ тонкой воздушной прослойки, образованной сферической поверхностью линзы и плоскостью стеклянной пластины. При нормальном падении света:

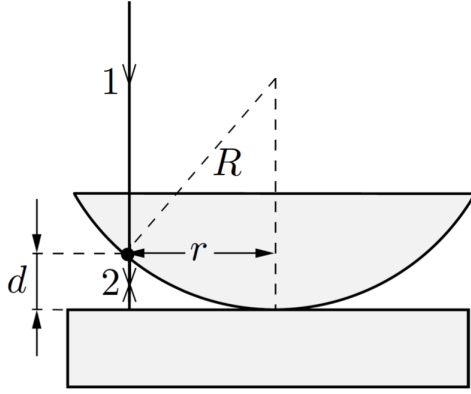


Рис. 2. Схема наблюдения колец Ньютона.

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 (см. рис. 2).

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

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

Условие интерференционного минимума  $\Delta = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}$ , откуда получаем для радиусов темных колец:

$$r_m = \sqrt{m\lambda R}, \quad (1)$$

$$r_m = \sqrt{(2m - 1)m\lambda R/2}, \quad (2)$$

### IV. ИЗМЕРЕНИЯ

Для определения радиуса кривизны линзы измеряют диаметры колец: устанавливают перекрестие на середину какого-либо достаточно удаленного от центра, но еще отчетливо видимого темного кольца и снимают отсчет по окулярной шкале: целые деления отсчитываются слева от риски, проходящей через окулярную шкалу, десятые и сотые доли деления по окулярному микрометрическому винту  $M$ .

Перемещая перекрестие, последовательно устанавливают его на середины темных колец и записывают соответствующие показания окулярной шкалы и микрометра. Для устранения ошибок, возникающих из-за люфта в винте, перекрестие всегда следует подводить к кольцу с одной стороны. Цену одного деления окулярной шкалы определяют сравнивая ее с изображением эталонной (объектной) шкалы. По разности отсчетов определяют диаметры, а затем и радиусы темных колец. Аналогичная серия измерений выполняется для светлых колец Ньютона.

Для вычисления цены деления окулярной шкалы достаточно наложить на линзу калиброванную объектную шкалу размером 1 мм, для которой заранее известна цена деления. Совместив две шкалы получаем, координаты левого края 3,03 дел. микр., координаты правого края 8,22 дел. микр., значит цена деления окулярной шкалы:

$$\frac{6}{8.22 - 3.03} = 1.156 \pm 0.004 \frac{\text{мм}}{\text{ед. шк.}} \quad (3)$$

Проведем измерения радиусов темных и светлых колец и построим график зависимости  $r_n^2(n)$ :

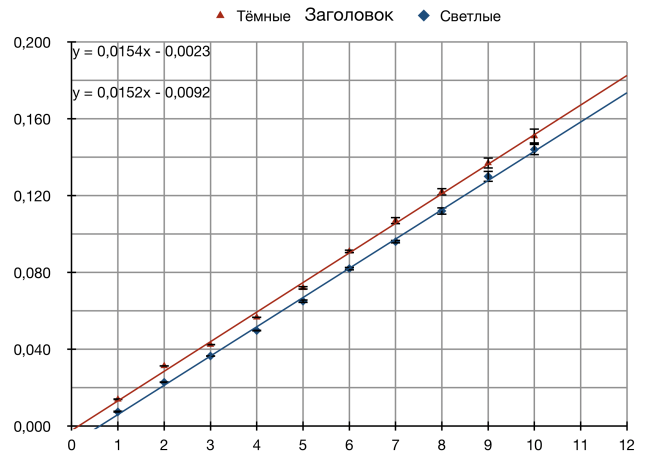


Рис. 3. Зависимость квадратов радиуса колец от номера.

$$k_{\text{темн.}} = (1.5 \pm 0.2) \cdot 10^2$$

$$k_{\text{светл.}} = (2 \pm 1) \cdot 10^2$$

По наклону прямых рассчитаем радиус кривизны линзы (формулы (1), (2) при  $\lambda = 546\text{нм}$ ):

$$R = \frac{r_n^2}{n\lambda} = \frac{k}{\lambda} = 28.0 \pm 0.4 \text{ мм}$$

## V. БИЕНИЯ

При освещении системы светом, содержащим две спектральные компоненты, наблюдается характерная картина биений: чёткость интерференционных колец периодически изменяется. Это объясняется наложением двух систем интерференционных колец, возникающих для разных длин волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ . Чёткие кольца в результирующей картине образуются при наложении светлых колец на светлые и тёмных на тёмные. Размытые кольца получаются при наложении светлых колец одной картины на тёмные кольца другой.

Для освещения входного окна опак-иллюминатора сразу двумя спектральными линиями (например, жёлтой и зелёной) можно расфокусировать монохроматор, смещая объектив  $O$  и призму.

Посчитаем количество тёмных полос между соседними чёткими системами:  $\Delta m = 12$ . Значит между центрами этих систем поместилось 12 периодов зелёного цвета и 13 жёлтого. Из этого можно определить длину волны жёлтого цвета:

$$\lambda_{\text{желт}} = 546 \cdot \frac{13}{12} = 590 \text{ нм}$$

Табличное значение  $\lambda_{\text{желт}} \in (565, 590) \text{ нм}$ .

## VI. ВЫВОДЫ

- Исследовали кольца Ньютона, как результат интерференции света;
- По измеренным диаметрам колец, определили радиус кривизны линзы;
- Получили картину биений;
- На основе измеренного периода биений, рассчитали длину волны жёлтого цвета.

---

[1] *Максимычев А.В.* Лабораторный практикум по общей физике. Т.2. - М.:МФТИ, 2014

[2] *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Т.4. - М.:Наука, 1996