



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физики»

Практикум по дисциплине

«Физика»

Лабораторная работа № 02
Определение радиуса кривизны линзы
с помощью колец Ньютона

Авторы
Егорова С.И.,
Егоров И.Н.,
Лемешко Г.Ф.

Ростов-на-Дону, 2018

Аннотация

Практикум содержит методику определения радиуса кривизны линзы. Лабораторная работа предназначена для студентов инженерных специальностей всех форм обучения в лабораторном практикуме по физике (раздел «Оптика»).

Предназначен для студентов очной, заочной формы обучающихся по всем направления изучающих физику

Авторы

профессор, д.т.н.
Егорова С.И.,
доцент, к.т.н.
Егоров И.Н.,
профессор, к.ф.-м.н.
Лемешко Г.Ф.



Оглавление

| | |
|--|----|
| <i>ЗАДАНИЕ 1.</i> Определение радиуса кривизны линзы | 7 |
| <i>ЗАДАНИЕ 2.</i> Определение длины световой волны..... | 8 |
| Контрольные вопросы | 10 |
| Рекомендуемая литература..... | 10 |

Цель работы: 1. Определение радиуса кривизны линзы с помощью колец Ньютона.

2. Определение длины волны света по известному радиусу кривизны линзы.

Оборудование: Микроскоп, осветитель, плосковыпуклая линза, плоскопараллельная пластинка, светофильтры.

Теория метода

Схема опыта для получения интерференции в виде колец Ньютона приведена на рис. 1. Плосковыпуклая линза большого радиуса кривизны R накладывается выпуклой стороной на плоскую стеклянную пластинку. Между соприкасающимися в точке A поверхностями линзы и пластинки образуется клинообразный воздушный слой. Если на такую систему вертикально сверху падает пучок монохроматического света, то световые волны, отраженные от нижней поверхности линзы (луч 1) и верхней поверхности пластинки (луч 2), будут интерферировать между собой. При этом образуются интерференционные линии, имеющие форму концентрических светлых и темных колец (рис. 2).

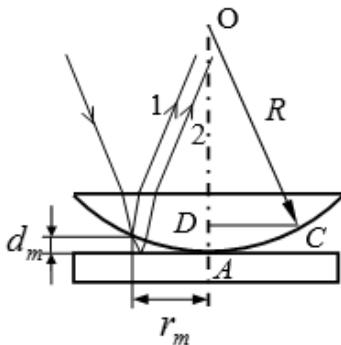


Рис. 1

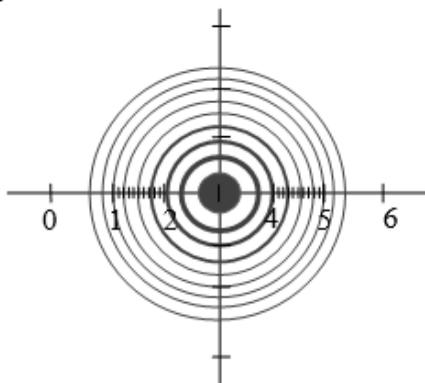


Рис. 2

При отражении от нижней пластинки, представляющей оптически более плотную среду, чем воздух, волны меняют фазу на противоположную, что эквивалентно уменьшению пути на $\lambda/2$. В месте соприкосновения линзы с пластинкой (рис. 1) толщина воздушной прослойки значительно меньше длины волны. Поэтому разность хода между лучами, возникающими в этой точке, определяется лишь потерей полуволны при отражении от пластинки: $\Delta = \lambda/2$. Следовательно, в центре интерференционной картины (рис. 2) наблюдается темное пятно.

Оптическая разность хода в отражённом свете при интерференции в тонких плёнках в случае нормального падения света:

$$\Delta = 2d_m n + \lambda/2 \quad (1)$$

Условие минимума при интерференции:

$$\Delta = (2m + 1)\lambda/2, \quad (2)$$

где $m = 1, 2, \dots$ - порядок интерференционного минимума, $n = 1$ - показатель преломления воздуха, d_m - толщина воздушного зазора, λ - длина волны света в вакууме.

Приравниваем (1) и (2):

$$2d_m n + \lambda/2 = (2m + 1)\lambda/2 \Rightarrow 2d_m n = m\lambda \quad (3)$$

Из прямоугольного треугольника ODC (рис. 1) по теореме Пифагора:

$$R^2 = r_m^2 + (R - d_m)^2 = r_m^2 + R^2 - 2Rd_m + d_m^2$$

Учитывая, что $d_m^2 \approx 0$, т.к. $d_m \ll R$ получаем:

$$d_m = r_m^2 / 2R, \quad (4)$$

где R - радиус кривизны линзы.

Подставляя (4) в (3), получаем:

$$2 \frac{r_m^2}{2R} n = m\lambda \Rightarrow R = \frac{r_m^2 n}{m\lambda}.$$

Учитывая, что диаметр кольца $D_m = 2r_m$, а $n = 1$, получаем формулу для расчёта радиуса кривизны линзы:

$$R = \frac{D_m^2}{4m\lambda}, \quad (5)$$

где m - номер кольца, D_m - диаметр m -го тёмного кольца.

Для более точного результата необходимо сделать измере-

ния двух колец и по разности их диаметров получить рабочую формулу для определения радиуса кривизны линзы:

$$R = \frac{D_m^2 - D_k^2}{4\lambda(m - k)} = \frac{(D_m + D_k)(D_m - D_k)}{4\lambda(m - k)}, \quad (6)$$

где m и k - номера колец.

Из формулы (6) мы можем получить формулу для расчёта длины волны света по известному радиусу кривизны линзы:

$$\lambda = \frac{D_m^2 - D_k^2}{4R(m - k)} = \frac{(D_m + D_k)(D_m - D_k)}{4R(m - k)}. \quad (7)$$

Описание экспериментальной установки

Установка для наблюдения колец Ньютона и проведения измерений (рис.3) представляет собой микроскоп **1**. На предметный столик **2** микроскопа помещена система: плоско-выпуклая линза с плоско- параллельной пластинкой в оправе **3**. Свет от лампочки S через линзу **4** параллельным пучком падает на монохроматический светофильтр **5** и полупрозрачную пластинку **6**, расположенную под углом 45° к лучам падающего света. Отражённый от пластинки **6** свет падает на систему линза-пластинка, после отражения от которых свет попадает в объектив микроскопа. Интерференционная картина рассматривается через окуляр микроскопа **7**. В поле зрения микроскопа наблюдатель будет видеть кольца Ньютона в увеличенном виде. Окуляр микроскопа снабжён окулярным микрометром (специальная шкала с перекрестием), с помощью которого измеряются радиусы (диаметры) колец Ньютона (рис. 2). Цена деления шкалы микрометра зависит от длины тубуса микроскопа **8** (таблица находится на рабочем столе). Перемещением тубуса **9** добиваются фокусировки микроскопа, т.е. резкого изображения колец Ньютона в фокальной плоскости окуляра.

К лабораторной работе прилагается переводная таблица, в которой указано, какой линейной величине на объекте соответствует одно деление шкалы **8** окулярного микрометра.

Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

ЗАДАНИЕ 1. Определение радиуса кривизны линзы

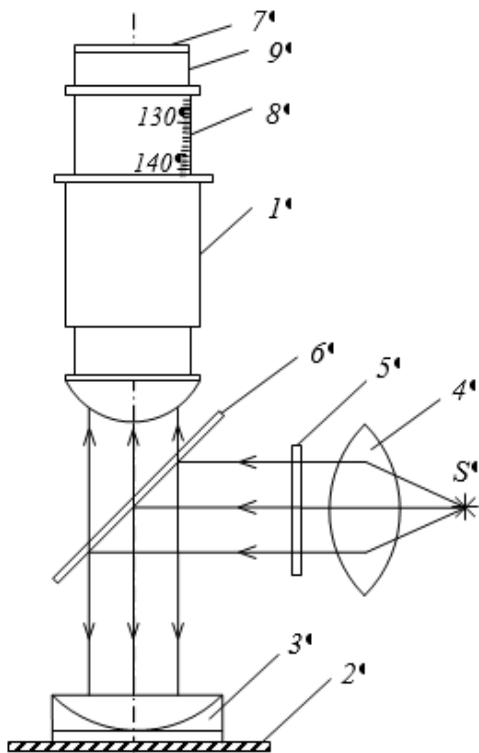


Рис. 3

1. Установить по заданию преподавателя длину тубуса l .

2. Определить цену деления микроскопа (c) по длине тубуса l и по таблице перевода, представленной на рабочем столе.

3. Установить на пути лучей светофильтр с известной длиной волны по заданию преподавателя (например, красный).

4. Измерить по окулярному микрометру микроскопа диаметры нескольких колец Ньютона, начиная с первого (не менее пяти). Для этого для выбранного кольца отметить число делений на шкале слева ($N_{лев.}$) и справа ($N_{пр.}$) от центра.

Разность между этими значениями даёт диаметр данного кольца (в делениях):

$$D_m(\text{дел.}) = N_{пр.} - N_{лев.}$$

Например, на рис. 2 для 5-го тёмного кольца $N_{лев.} = 12$ делений, а $N_{пр.} = 48$ делений. Следовательно, диаметр 5-го тёмного кольца равен 36 делений.

5. Диаметр колец Ньютона (в мм) определяется по формуле:

$$D_m(\text{мм}) = c(\text{мм} / \text{дел.}) \cdot D_m(\text{дел.})$$

6. Вычислить по формуле (6) радиус кривизны линзы три раза (для разных сочетаний m и k).

7. Найти среднее значение радиуса кривизны линзы $\langle R \rangle$.

8. Результаты эксперимента занести в таблицу 1.

Таблица 1

| $l =$ $c =$ λ (красный)= | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|------------|----------|
| Но- мера колец | $N_{лев.}$ | $N_{пр.}$ | D_m | D_m | R | ΔR | δ |
| | <i>дел.</i> | <i>дел.</i> | <i>дел.</i> | <i>мм</i> | <i>мм</i> | <i>мм</i> | <i>%</i> |
| 1 | | | | | | | X |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | |
| $\langle Cр. \rangle$ | X | X | X | X | | | |

9. Вычислить абсолютную погрешность каждого измерения по формуле $\Delta R_i = |\langle R \rangle - R_i|$.
10. Вычислить среднюю абсолютную погрешность $\langle \Delta R \rangle$.
11. Вычислить относительную (δ) погрешность по формуле:

$$\delta = \frac{\langle \Delta R \rangle}{\langle R \rangle} 100\%.$$

12. Окончательный результат записывается в виде:

$$R = (\langle R \rangle \pm \langle \Delta R \rangle) м.$$

ЗАДАНИЕ 2. Определение длины световой волны

1. Установить на пути лучей светофильтр с неизвестной длиной волны (например, зелёный).
2. Занести в таблицу 2 среднее значение радиуса кри-

визны линзы $\langle R \rangle$, полученного в задании 1.

3. Повторить пункты (2-5) задания 1 для данного свето-фильтра.

4. Вычислить по формуле (7) длину волны три раза (для разных сочетаний m и k).

5. Найти среднее значение длины волны зелёного света. Результаты эксперимента занести в таблицу 2.

6. Вычислить абсолютную погрешность каждого измерения по формуле: $\Delta\lambda_i = |\langle\lambda\rangle - \lambda_i|$.

7. Вычислить среднюю абсолютную погрешность $\langle\Delta\lambda\rangle$.

8. Вычислить относительную (δ) погрешность по формуле:

$$\delta = \frac{\langle\Delta\lambda\rangle}{\langle\lambda\rangle} 100\%.$$

9. Окончательный результат записывается в виде:

$$\lambda = (\langle\lambda\rangle \pm \langle\Delta\lambda\rangle) m$$

Таблица 2

| $c =$ | | $\langle R \rangle =$ | | | | | |
|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------|--------------------|-----------------|----------|
| Но- мера колец | $N_{лев.}$ | $N_{пр.}$ | D_m | D_m | λ Зелён | $\Delta\lambda$ | δ |
| | <i>дел.</i> | <i>дел.</i> | <i>дел.</i> | <i>мм</i> | <i>мм</i> | <i>мм</i> | <i>%</i> |
| 1 | | | | | | | X |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | |
| $\langle Cp. \rangle$ | X | X | X | X | | | |

Контрольные вопросы

1. Что называется интерференцией света?
2. Какие лучи называются когерентными?
3. Почему интерференция считается одним из основных доказательств волновой природы света?
4. Почему интерференционная картина в белом свете имеет радужную окраску?
5. Что такое оптическая разность хода лучей?
6. Условия максимума и минимума при интерференции.
7. Способ получения интерференционной картины в виде колец Ньютона?
8. Как получаются кольца Ньютона?
9. Вывести радиусы тёмных колец в отражённом свете.
10. Вывести радиусы светлых колец в отражённом свете.
11. Чем отличаются кольца в отражённом и проходящем свете?

Рекомендуемая литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики (т.3). М.: Наука, СПб.: Лань, 2006.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высш. шк., 2004.
3. Справочное руководство по физике. Ч.2. Колебания, волны, оптика, атомная и ядерная физика: Учеб.-метод. пособие.- Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2009.
4. Федосеев В.Б. Физика. Ростов н/Д: Феникс, 2009.