

**5009**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ИЗУЧЕНИЕ  
ЯВЛЕНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА  
С ПОМОЩЬЮ КОЛЕЦ НЬЮТОНА**

Методические указания  
к лабораторной работе

Рязань 2016

УДК 539

Изучение явления интерференции света с помощью колец Ньютона: методические указания к лабораторной работе / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: Б.С.Бобров, А.П.Соколов. Рязань, 2016. 8 с.

Изложены элементы теории и методы получения интерференционной картины в виде колец Ньютона, приведены методика для определения радиуса кривизны линзы и длины волны света, а также указания по обработке полученных экспериментальных данных.

Предназначены для студентов всех специальностей дневной и заочной форм обучения, изучающих курс физики.

Табл. 1. Ил. 5. Библиогр.: 4 назв.

*Интерференция, линза, разность хода, кольца Ньютона*

Печатается по решению редакционно-издательского совета Рязанского государственного радиотехнического университета.

Рецензент: кафедра общей и экспериментальной физики РГРТУ (зав. кафедрой канд. техн. наук, доц. М.В. Дубков)

Изучение явления интерференции света с помощью колец Ньютона

Составители: Б о б р о в Борис Сергеевич  
С о к о л о в Александр Павлович

Редактор Р.К. Мангутова

Корректор С.В. Макушина

Подписано в печать 29.04.16. Формат бумаги 60 x 84 1/16.

Бумага писчая. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 0,5.

Тираж 200 экз. Заказ

Рязанский государственный радиотехнический университет.

390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Редакционно-издательский центр РГРТУ.

**Цель работы:** изучение явления интерференции света, определение радиуса кривизны линзы и длины световой волны.

**Приборы и принадлежности:** микроскоп, плосковыпуклая линза и стеклянная пластина в специальной оправе, источник света, блок питания, фильтры.

## ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ И МЕТОД ЭКСПЕРИМЕНТА

При наложении когерентных световых волн происходит перераспределение светового потока в пространстве, в результате чего в одних местах возникают максимумы, а в других – минимумы интенсивности. Это явление называется интерференцией волн.

Наблюдение интерференции возможно лишь в том случае, если интерферирующие световые волны когерентны, т.е. имеют одинаковые направления колебаний, частоту и постоянную во времени разность фаз.

Во всех интерференционных схемах получение когерентных световых волн достигается путем искусственного разделения световых волн, исходящих из источника, на две части. Последние в области перекрытия дают устойчивую интерференционную картину.

Пусть источники  $S_1$  и  $S_2$  посылают в точку  $C$  монохроматические волны (рис. 1).

$$\begin{aligned} E_1 &= E_{01} \sin \left[ 2\pi \left( vt - \frac{y_1}{\lambda} \right) + \alpha_1 \right], \\ E_2 &= E_{02} \sin \left[ 2\pi \left( vt - \frac{y_2}{\lambda} \right) + \alpha_2 \right]. \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\nu$  – частота колебаний;  $\lambda$  – длина волны, излучаемая источниками;  $y_1$  и  $y_2$  – расстояния от источников  $S_1$  и  $S_2$  до точки  $C$ ;  $E_{01}$  и  $E_{02}$  – модули амплитуд светового (электрического) вектора;  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – начальные фазы колебаний источников.

Амплитуда  $E_0$  результирующего колебания в точке  $C$  при наложении волн определяется по формуле

$$E_0^2 = E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02} \cos(\varphi_1 - \varphi_2), \quad (2)$$

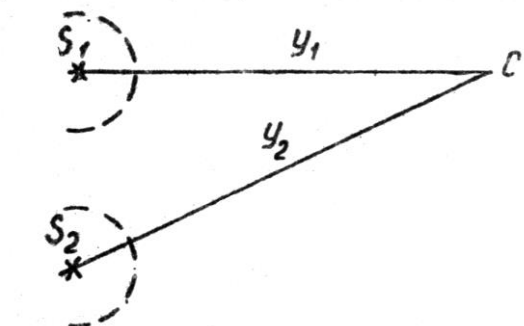


Рис. 1

где  $\varphi_1 - \varphi_2 = \left[ 2\pi\left(vt - \frac{y_1}{\lambda}\right) + \alpha_1 \right] - \left[ 2\pi\left(vt - \frac{y_2}{\lambda}\right) + \alpha_2 \right] = 2\pi \frac{y_2 - y_1}{\lambda} + (\alpha_1 - \alpha_2) -$

разность фаз двух волн, приходящих в точку С.

Учитывая, что интенсивность света в однородной среде пропорциональна квадрату амплитуды световой волны ( $I \sim E_0^2$ ), из уравнения (2) получаем выражение для интенсивности:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos\left(2\pi \frac{y_2 - y_1}{\lambda} + \alpha_1 - \alpha_2\right), \quad (3)$$

где  $I_1$  и  $I_2$  – интенсивности волн. Если разность фаз возбуждаемых волнами колебаний непрерывно изменяется, принимая с равной вероятностью любые значения, то среднее значение  $\cos(\varphi_1 - \varphi_2)$  при этом обращается в нуль, интенсивности волн во всех точках складываются  $I_1 + I_2 = I$  и интерференция не наблюдается.

Если разность фаз за время наблюдения остается постоянной, то волны ослабляют или усиливают друг друга. В точке С волны максимально усиливают друг друга, если разность фаз в (3) определяется как

$$2\pi \frac{y_2 - y_1}{\lambda} + \alpha_1 - \alpha_2 = \pm 2\pi k, \quad (k=1, 2, \dots).$$

Тогда разность хода

$$\Delta = y_2 - y_1 = \pm k\lambda \quad (4)$$

при одинаковых начальных фазах ( $\alpha_1 = \alpha_2$ ) определяет условие интерференционного максимума. В этом случае  $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}$ .

Волны максимально ослабляют друг друга, если разность фаз

$$2\pi \frac{y_2 - y_1}{\lambda} + \alpha_1 - \alpha_2 = \pm(2k+1)\pi, \quad (k=0, 1, 2, \dots).$$

Тогда разность хода

$$\Delta = y_2 - y_1 = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2} \quad (5)$$

при  $\alpha_1 = \alpha_2$  определяет условие интерференционного минимума.

В этом случае

$$I = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2}.$$

Рассмотрим случай интерференции равной толщины – кольца Ньютона. Схема наблюдения колец Ньютона изображена на рис. 2.

Плосковыпуклая линза большого радиуса кривизны прижимается выпуклой стороной к плоской пластинке. Толщина воздушной прослойки  $h$  между пластиной и сферической поверхностью линзы увеличивается от точки их соприкосновения к краям линзы. Места одинаковой толщины слоя воздуха расположены по concentрическим окружностям.

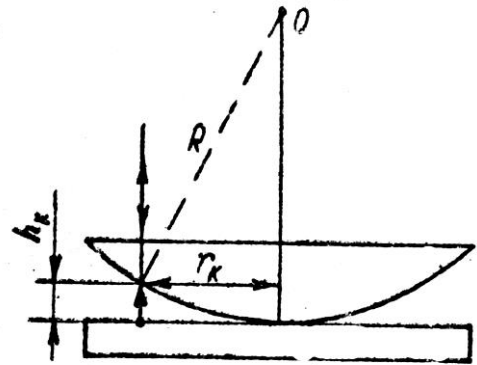


Рис. 2

Пусть на линзу нормально падает пучок монохроматического света. Световые волны, отраженные от верхней и нижней границ воздушной прослойки, интерферируют между собой. В отраженном свете интерферирующие волны создают картину чередующихся concentрических светлых и темных колец с темным пятном в центре.

При нормальном падении света оптическая разность хода  $\Delta$  двух волн, одна из которых отражается от выпуклой поверхности линзы, другая – от верхней плоскости пластины, определяется по формуле

$$\Delta = 2hn + \frac{\lambda}{2}, \quad (6)$$

где  $h$  – толщина воздушного зазора;  $\lambda$  – длина волны падающего света в вакууме;  $n$  – показатель преломления прослойки;  $\frac{\lambda}{2}$  – дополнительная разность хода, возникающая при отражении света от оптически более плотной среды (в данном случае от пластины).

В зависимости от  $h$  оптическая разность хода  $\Delta$  может содержать четное или нечетное число полуволн. Это приводит к появлению в отраженном свете либо интерференционного максимума (светлого кольца), либо минимума (темного кольца). Учитывая, что в воздухе  $n = 1$ , из формулы (6) получаем:

$$2h + \frac{\lambda}{2} = 2k \frac{\lambda}{2} - \text{условие максимума.} \quad (7)$$

$$2h + \frac{\lambda}{2} = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \text{ условие минимума,} \quad (7^1)$$

где  $k=1, 2, 3, \dots$

Из уравнения (7<sup>1</sup>) следует, что толщина зазора  $h_k$ , соответствующая  $k$ -му темному кольцу, равна

$$h_k = k \frac{\lambda}{2}. \quad (8)$$

Получаем соотношение, связывающее толщину зазора  $h_k$ , радиус кривизны  $R$  и радиус  $k$ -го кольца  $r_k$ . Из рис. 2 имеем

$$r_k^2 = R^2 - (R - h_k)^2 = 2Rh_k - h_k^2.$$

Принимая во внимание, что  $2R \gg h_k$ , получаем

$$h_k = \frac{r_k^2}{2R}. \quad (9)$$

Из соотношений (8) и (9) следует выражение для радиуса  $k$ -го темного кольца:

$$r_k = \sqrt{Rk\lambda}. \quad (10)$$

Отсюда, измеряя  $r_k$  и зная  $k$  и  $\lambda$ , можно определить радиус кривизны линзы  $R$ .

Однако практически трудно добиться идеального контакта сферической поверхности линзы с плоской пластиной в одной точке вследствие упругой деформации стекла и попадания в место их соприкосновения пылинок. Поэтому непосредственно использовать формулу (10) для вычисления  $R$  нельзя. Действительно,  $k$ -му темному кольцу может соответствовать не  $k$ -й порядок интерференции, а  $(k+x)$ -й, где  $x$  – неизвестное целое число, одинаковое для всех колец. Для исключения возможной ошибки радиус кривизны линзы  $R$  вычисляется по разности квадратов радиусов колец  $r_k^2$  и  $r_m^2$ . В этом случае неизвестное  $x$  исключается. Пусть для колец с номерами  $k$  и  $m$  из равенства (8) имеем:

$$h_k = (k + x) \frac{\lambda}{2}, \quad h_m = (m + x) \frac{\lambda}{2},$$

тогда

$$h_k - h_m = (k - m) \frac{\lambda}{2} . \quad (11)$$

Ту же разность толщин слоев можно получить из равенства (9):

$$h_k - h_m = \frac{r_k^2 - r_m^2}{2R} . \quad (12)$$

Из (11) и (12) можно записать

$$R = \frac{r_k^2 - r_m^2}{\lambda(k - m)} .$$

Переходя к диаметрам колец  $d_k$  и  $d_m$ , получаем

$$R = \frac{d_k^2 - d_m^2}{4\lambda(k - m)} \quad (13)$$

Анализ формулы (13) показывает, что  $d_k^2 - d_m^2 = 4\lambda R$  при  $k-m=1$ , т.е. разность квадратов диаметров двух любых соседних колец есть величина постоянная.

Следовательно, измерив диаметры нескольких темных колец и вычислив разность квадратов диаметров соседних колец, можно найти среднее значение  $\langle d_k^2 - d_m^2 \rangle$  для 4-5 пар колец.

Радиус кривизны линзы  $R$  вычисляем по формуле

$$R = \frac{\langle d_k^2 - d_m^2 \rangle}{4\lambda} , \quad (14)$$

полученной из (13) при  $k-m=1$ .

## ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Установка для наблюдения интерференции света с помощью колец Ньютона, определения радиуса кривизны линзы и длины световой волны (рис. 3) состоит из микроскопа, снабженного окулярным микрометром, плоскопараллельной стеклянной пластины 1, на которой выпуклой стороной лежит плосковыпуклая линза 2 с большим радиусом кривизны. Линза и стеклянная пластина находятся в специальной оправе. Источником света служит лампа накаливания.

Для получения монохроматического света используются светофильтры.

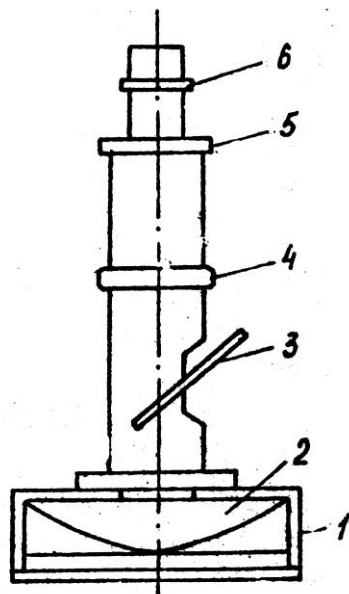


Рис. 3

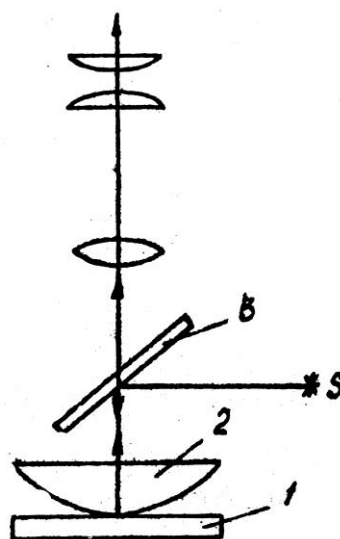


Рис. 4

На рис. 4 приведена оптическая схема установки. Лучи света, падающие от источника  $S$  (рис. 4) на полупрозрачную пластину 3, отражаются от нее и падают нормально на плосковыпуклую линзу 2. После отражения от границ воздушного слоя, образованного линзой 2 и пластиной 1, свет поступает в микроскоп. Таким образом, осуществляется получение и наблюдение интерференции в отраженном свете.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Включите блок питания лампы накаливания.
2. Установите микроскоп на оправу, в которой находится линза с пластиной (рис. 3).
3. Регулируя попадание света на пластину 3 и ее наклон, добейтесь хорошего освещения поля зрения микроскопа.
4. Придерживая микроскоп рукой и вращая окулярное кольцо 6, добейтесь отчетливого изображения шкалы окулярного микрометра.
5. Вращая кольцо 4, добейтесь резкого изображения колец Ньютона в зеленом свете.



6. Перемещая микроскоп по поверхности оправы, добейтесь, чтобы шкала окулярного микрометра расположилась по диаметру колец и ее нуль находился слева.

7. Измерьте в делениях шкалы  $N_1$  диаметры 5-6 колец, где  $N_1$  – число наименьших делений шкалы.

8. С помощью кольца микроскопа 5 поверните шкалу окулярного микроскопа на  $90^\circ$  и повторите аналогичные измерения  $N_2$  для тех же номеров колец.

9. Выразите значения диаметров в миллиметрах:  $d = 0,05N$ ,

где 0,05 мм – цена наименьшего деления окулярного микрометра. Цифры, указанные на его шкале (рис. 5): 1, 2, 3, ...,

означают целые миллиметры. Найдите средние диаметры колец по

формуле  $\langle d_k \rangle = \frac{d_1 + d_2}{2}$ .

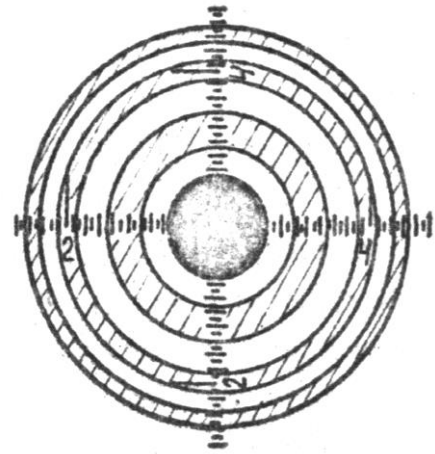


Рис.5

10. Результаты измерений занесите в таблицу.

№ п/п	Номер видимого кольца	$N_1$	$d_1$ , мм	$N_2$	$d_2$ , мм	$\langle d_k \rangle$ , мм	$\langle d_k^2 \rangle$ , мм <sup>2</sup>	$d_{k+1}^2 - d_k^2$ , мм <sup>2</sup>
1								
2								
3								
$\langle (d_{k+1}^2 - d_k^2) \rangle =$								

$N_1, N_2$  – диаметры колец в делениях шкалы;  $d_1$  и  $d_2$  – диаметры колец, мм. Длина волны, пропускаемая светофильтром, указана на установке.

11. Найдите среднее значение разности квадратов диаметров колец  $\langle (d_{k+1}^2 - d_k^2) \rangle$  при  $k-m=1$ .

12. По формуле (14) вычислите радиус кривизны линзы  $R$ .

13. Оцените абсолютную и относительную погрешности искомой величины.

14. Для определения длины волны красного света повторите все измерения по пп. 1-3.

15. Произведите обработку результатов по пп. 9-11, занесите их в таблицу.

16. По формуле  $\lambda = \frac{\langle d_k^2 - d_m^2 \rangle}{4R}$  определите длину волны красного света.

17. Оцените абсолютную и относительную погрешности искомой величины.

## **ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ**

1. Что называется интерференцией света?
2. Перечислите условия наблюдения интерференционной картины.
3. Получите формулу для определения радиусов светлых (темных) колец в отраженном свете при точечном контакте линза-пластинка.
4. Как изменятся радиусы колец Ньютона, если пространство между линзой и пластинкой заполнить водой?
5. Почему интерференционная картина получается в виде колец?
6. Как изменится интерференционная картина в проходящем свете по сравнению с той же картиной в отраженном свете? Почему?

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 2. М.: Наука, 1988. С. 367-370.
2. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976. С. 62-94.
3. Соколов А.П., Соколов А.А. Интерференция света: методические указания /Рязан. гос. радиотехн. ун-т. Рязань, 2009. С1-20.
4. Трофимова Т.Н. Курс физики. М.: Высшая школа, 1985. С. 252-264.