



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Брянский государственный технический университет

Кафедра «Общей физики»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе № ____

(название лабораторной работы)

Выполнил студент группы _____

(Ф.И.О)

Отметка о допуске: _____

Отметка о защите: _____

Брянск 20 ____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №45

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА КРИВИЗНЫ ЛИНЗЫ С ПОМОЩЬЮ КОЛЕЦ НЬЮТОНА

Цель работы: ознакомление с явлением интерференции света (на одном из примеров получения интерференционных полос равной толщины) и применение этого явления для измерения радиуса кривизны линзы.

Теоретическое введение

Волны одной частоты, имеющие одинаковое направление колебаний и постоянную во времени разность фаз, называются когерентными.

Когда в одну и ту же точку пространства приходят два когерентных световых колебания, то они, складываясь, усиливают или ослабляют друг друга. Это явление называется интерференцией света.

Если на стеклянную пластинку положить плосковыпуклую линзу большого радиуса кривизны, выпуклостью к пластинке (рис.1), то между линзой и пластинкой образуется тонкая воздушная прослойка, толщина которой увеличивается от точки (О) соприкосновения линзы с пластинкой к краям. Если на систему “линза-пластинка” направить пучок монохроматического света нормально к поверхности пластинки, то световые лучи (световые волны) этого пучка, отразившись частично от верхней и нижней границ этой воздушной прослойки, будут накладываться друг на друга и интерферировать, образуя чередующиеся тёмные и светлые интерференционные полосы, имеющие вид колец (кольца Ньютона).

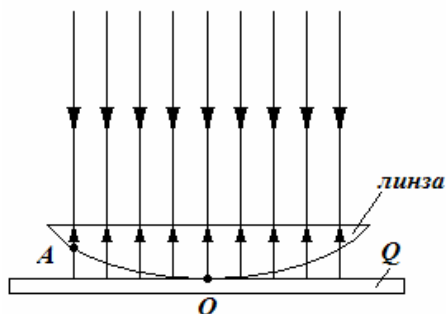


Рис. 1

В установке кольца Ньютона являются результатом интерференции лучей, отражённых на границе выпуклой поверхности линзы (Л) с воздухом, с лучами, отражёнными на границе верхней поверхности пластинки чёрного стекла

Q с воздухом (рис.1).

Ниже будет доказано, что при освещении монохроматическим светом интерференционная картина в отраженном свете будет следующая: в центре (место соприкосновения линзы с пластинкой) – тёмное пятно, вокруг него ряд концентрических чередующихся светлых и тёмных колец убывающей ширины. В случае белого света кольца будут цветными. Если выпуклую линзу положить на прозрачную пластинку, то кольца можно наблюдать и в проходящем свете. При этом картина получается обратная той, которая наблюдается в отражённом свете: в центре будет светлое пятно, все светлые кольца заменяются тёмными и наоборот. В данной работе наблюдается, как уже было упомянуто, кольца Ньютона в отражённом свете.

На границе выпуклой поверхности линзы (Л) с воздухом в каждой точке, например в точке А (рис.1) волна делится на 2 части: первая часть отражается в обратном направлении от границы линза – воздух, вторая проходит воздушную прослойку толщиной d , доходит до стеклянной пластинки и тоже частично отражается в обратном направлении, накладываясь на первый отражённый луч, интерферирует с ним. Чтобы получить оптическую разность хода этих двух интерферирующих лучей, надо геометрический путь $2d$, пройденный вторым лучом в воздушной прослойке, умножить на показатель преломления воздуха n , т. к. в среде длина волны уменьшается в n раз. Кроме того, надо учесть потерю вторым световым лучом полволны $\lambda/2$ при отражении от верхней поверхности пластинки чёрного стекла на границе с воздухом (при отражении от оптически более плотной среды).

Таким образом, оптическая разность хода двух интерферирующих лучей будет равна

$$\Delta = 2d_k \cdot n + \lambda/2. \quad (1)$$

Если в оптической разности хода двух интерферирующих лучей укладывается чётное число полуволн $2k\lambda/2$ (или целое число волн $k\lambda$), где $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ (целое число), то происходит усиление света и в отражённом свете в точке А (рис.1) наблюдатель обнаружит световой максимум. Световые максимумы в местах с одинаковой толщиной прослойки образуют светлое кольцо Ньютона, наблюдаемое в отражённом свете. Принимая показатель преломления воздуха $n=1$, запишем **условие образования k -го светлого кольца Ньютона при наблюдении в отражённом свете:**

$$2d_k + \lambda/2 = k\lambda, \quad (2)$$

или

$$d_k = (2k-1)\lambda/4, \quad (3)$$

где d_k – толщина воздушной прослойки в том месте, где наблюдается k -е светлое кольцо (рис.2), k – номер кольца, λ – длина световой волны монохроматического света, используемого в опыте. Если в разности хода лучей укладывается нечётное число полуволн $(2k+1)\lambda/2$, то наблюдается ослабление света. **Условие образования k -го темного кольца**

$$2d_k + \lambda/2 = (2k+1)\lambda/2, \quad (4)$$

где $k=0, 1, 2, 3, \dots$ (целое число).

Центральное тёмное пятно соответствует $k = 0$, при этом разность хода лучей составит лишь $\lambda/2$, поскольку $d_k = 0$ (линза касается тёмной стеклянной пластинки).

Толщина воздушного слоя d_k может быть найдена исходя из геометрических соображений. Пусть через точку А (рис.2) проходят k -е светлое кольцо. В прямоугольном треугольнике DNE гипотенуза равна радиусу кривизны R линзы,

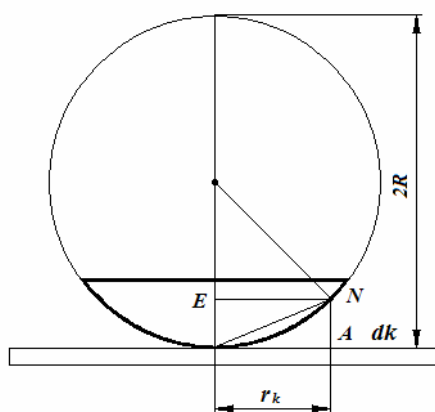


Рис. 2

катет $DE=R - dk$, а катет EN равен радиусу (r) К-го кольца. Применяя теорему Пифагора, пренебрегая малой величиной dk^2 , получим:

$$d_k = \frac{r_k^2}{2R} \quad (5)$$

можно пренебречь. Сравнивая уравнение (3) и (5), получим для к-го светлого кольца:

$$(2k-1)\frac{\lambda}{4} = \frac{r_k^2}{2R}$$

(6)

Выражение (6) позволяет получить расчётную формулу для определения радиуса кривизны линзы

$$R = \frac{2r_k^2}{(2k-1)\lambda} \quad (7)$$

Измерив радиус к-го светлого кольца и зная длину световой волны монохроматического света, вычисляют по формуле (7) искомый радиус кривизны линзы.

Необходимо отметить, что интерференционные явления используются в области науки и техники для решения многих сложных задач, например, для весьма точного определения показателей преломления вещества, исследования структуры и формы спектральных линий, определения длины световой волны, для контроля правильности оптических поверхностей и т.п.

Описание установки и устройства прибора.

На предметном столике (П) микроскопа (рис.3) расположена подставка, основанием которой является черное зеркало (З). На зеркале расположена выпуклая линза, соприкасающаяся с ним в точке С. Свет осветителя К, пройдя через светофильтр (СФ), попадает на стеклянную пластинку (Р), установленную под углом 45° к направлению световых лучей, отражается от неё и попадает на систему линза - черное зеркало нормально к поверхности зеркала. Отразившись от поверхности черного зеркала и частично пройдя через пластинку Р, свет попадает в объектив микроскопа. Увеличенное изображение колец Ньютона наблюдают через окуляр микроскопа.

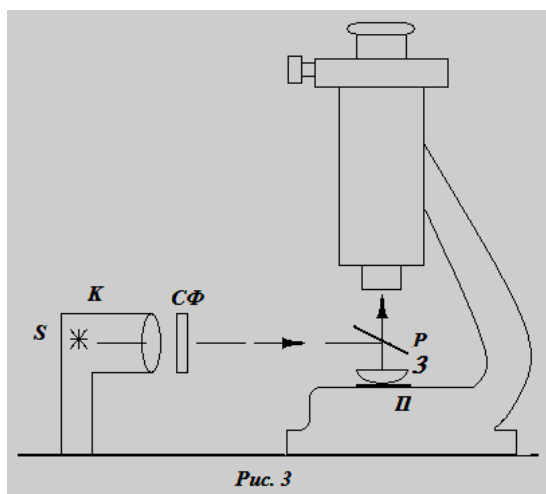


Рис. 3

Резкое изображение колец достигается перемещением тубуса микроскопа вверх или вниз с помощью регулировочных рукояток расположенных на тубосодержателе микроскопа.

В фокальной плоскости окулярного винтового микрометра расположена неподвижная шкала, по которой перемещается двойная риска. Синхронно с ней перемещается и крест нитей, находящийся в центре поля зрения. Смещение двойной риски на одно деление шкалы соответствует 100 делениям барабана окулярного микрометра (один полный оборот). Цена деления шкалы барабана окулярного микрометра, используемого в данной лабораторной работе, $2,15 \cdot 10^{-6}$ м. Отсчет положения перекрестия нитей окулярного микрометра снимается так: сотни делений – по неподвижной шкале (по положению двойной риски, ближайшее левое число), десятки и единицы – по делению шкалы барабана, приходящемуся против отсчетного индекса на винте микрометра.

Для положения перекрестия показанного на рисунке 4, координата центра колец равна 334 деления барабана.

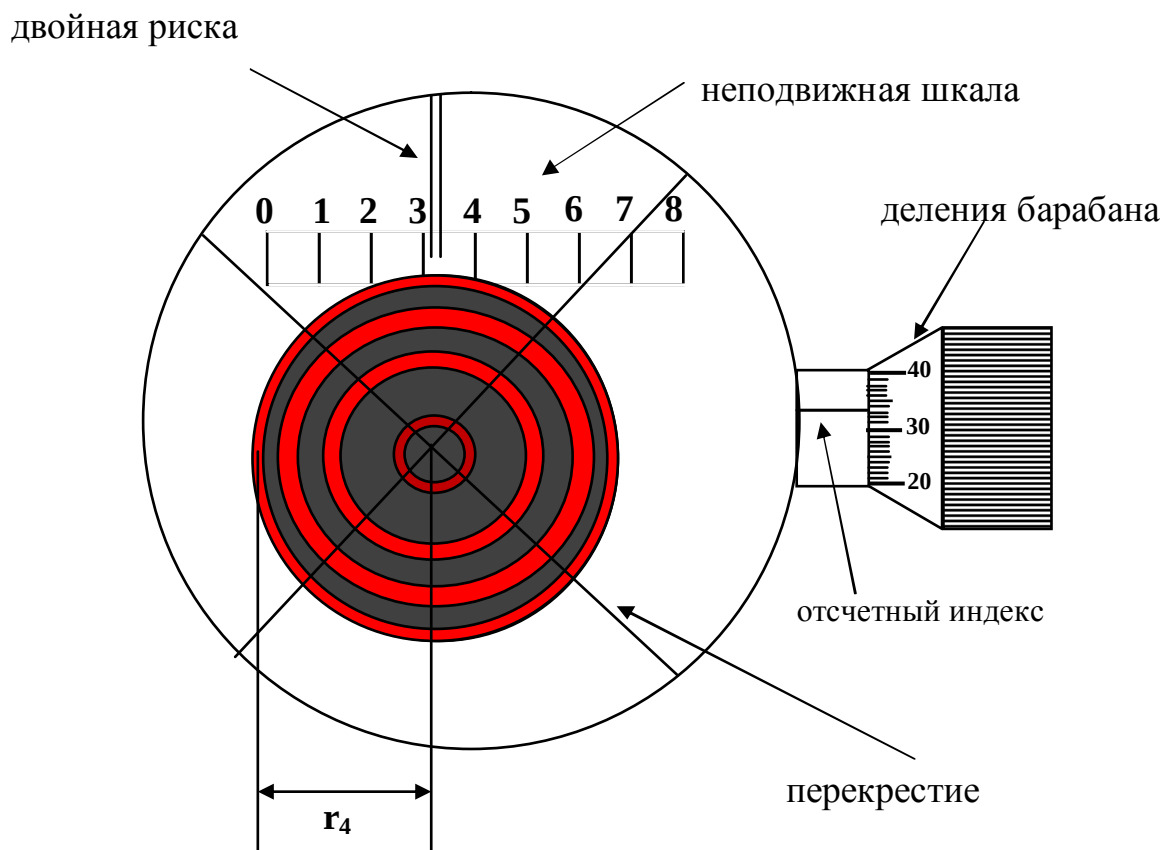


Рисунок 4.

Техника безопасности

Во время опыта необходимо соблюдать общие правила работы на электроустановках.

Порядок выполнения работы

1.С разрешения преподавателя включить осветитель.

2.Убедится, что в поле зрения находятся четкое изображение колец Ньютона, неподвижная шкала прибора и перекрестие нитей. Если не наблюдается четкого изображения одного из параметров, обязательно обратится к преподавателю.

3.Вращая барабан окулярного микрометра, смещают двойную риску, и соответственно, перекрестие нитей на 2-е деление шкалы.

4. Попеременно вращая ручки столика микроскопа, совмещаем центр системы колец Ньютона (центральное темное пятно) с перекрестием нитей.

4.Берут отсчет по окулярному микрометру и шкале барабана, определяют координату центра системы колец X_c .

5.Вращая барабан окулярного микрометра переводят крест нитей на середину 4-го светлого кольца и берут отсчет X_4 . Разность между X_4 и X_c дает радиус 4-го светлого кольца в делениях микроскопа.

$$X_4 - X_c = r_4$$

Повторяют эту операцию пять раз и вычисляют среднее значение радиуса четвертого светлого кольца, не забыв перевести данные значения в метры (табличка на столе). Данные занести в таблицу 1.

Затем измеряют один раз значение радиусов 5-го, 6-го, 7-го и 8-го светлых колец Ньютона, переводя также данные значения в метры(табличка на столе).

6. По среднему значению радиусов 4-го светлого кольца и измеренным радиусам 5-го, 6-го, 7-го и 8-го колец Ньютона вычисляют по формуле (7) радиус кривизны поверхности линзы R_4, R_5, R_6, R_7, R_8 и находят средний радиус R_{cp} .

$$R_{cp} = \frac{\sum R_i}{n} \quad (8)$$

номер кольца k	координата центра X_c	координата k-го кольца X_k	радиус k- го кольца в делениях барабана Γ_k	радиус k-го кольца в метрах $\Gamma_k, \text{м}$	радиус кривизны линзы $R_k, \text{м}$	средний радиус кривизны
4.1						
4.2						
4.3						
4.4						
4.5						
5						
6						
7						
8						

таблица 1

7. Определяют среднюю квадратичную погрешность $\Delta r_{\kappa\theta} = \sqrt{\frac{\sum (\Delta r_i)^2}{n(n-1)}}$

радиуса четвертого светлого кольца для 5 измерений. Вычисляют абсолютную случайную погрешность $\Delta r = t_{\alpha,n} \cdot \Delta r_{\kappa\theta}$, где $t_{\alpha,n}$ – коэффициент Стьюдента (см. табличку на столе), α – доверительная вероятность ($\alpha=0,95$), n – количество измерений ($n=5$).

8. Рассчитывают относительную погрешность в определении радиуса кривизны поверхности линзы по уравнению

$$E = \frac{\Delta R}{R_{cp}} = \sqrt{\left(2 \frac{\Delta r}{r_{cp}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda}\right)^2} \quad (9)$$

и находят абсолютную погрешность $\Delta R = E \cdot R_{cp}$.

9. Записывают значения радиуса кривизны линзы

$$R = R_{cp} \pm \Delta R.$$

Контрольные вопросы

1. Когерентные источники. Интерференция световых волн.
2. Как возникают кольца Ньютона? Почему в случае белого света кольца получаются цветными?
3. Почему в отраженном свете в центре интерференционной картины образуется темное пятно, а не темная точка?
4. Выведите формулу, связывающую радиус кривизны линзы, длину световой волны и радиус кольца.
5. Почему кольца Ньютона по мере удаления от их центра становятся менее широкими и более плотно расположенными? Наблюдается ли такая картина при интерференции от клина?
6. Если между линзой и стеклянной пластинкой, из-за попадания пыли нет оптического контакта, то какова будет интерференционная картина? В этом случае определение по вышеприведенным формулам будет не точным, попытайтесь найти более точный метод расчета.

Список рекомендуемой литературы

1. Савельев И.В. Курс общей физики, Т.3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. - М.: Наука, 1987. - с. 96-99.