

Лабораторная работа №7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА КРИВИЗНЫ ЛИНЗЫ И ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ С ПОМОЩЬЮ КОЛЕЦ НЬЮТОНА

Приборы и принадлежности:

Микроскоп, линза в специальной обойме и пластинка из черного стекла, ртутная лампа с блоком питания, светофильтры.

Введение

Работа посвящена ознакомлению с явлением интерференции в тонких прозрачных изотропных пластинках.

Явление интерференции заключается в перераспределении интенсивности (образование темных и светлых полос) при наложении двух световых волн от когерентных источников. Когерентными называются источники, испускающие колебания одинаковой частоты с постоянной разностью фаз. Усиление или ослабление интенсивности в пространстве зависит от оптической разности хода двух когерентных лучей. Если разность хода равна нечетному числу длин полуволен, т. е.

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

то наблюдается гашение света (темная полоса). Если разность хода равна четному числу длин полуволен, т.е.

$$\Delta = 2m \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad (2)$$

то наблюдается усиление света.

Отдельные самостоятельные источники не дают когерентного излучения. Когерентные волны можно получить, если направить лучи света от одного источника разными путями, а затем свести их в одной точке. Такой принцип используется в установке для получения колец Ньютона.

Кольца Ньютона наблюдаются в том случае, если выпуклая поверхность линзы малой кривизны соприкасается с хорошо отполированной стеклянной плоскопараллельной пластинкой так, что между ними вблизи точки их соприкосновения образуется тонкий воздушный клин (рис. 1). Если на такую систему нормально падает пучок монохроматического света, то световые волны 1 и 2, отраженные от верхней и нижней границы этой воздушной прослойки, будут интерферировать между собой. Картина интерференции, представляющая собой чередование светлых и темных концентрических полос убывающей ширины, локализована на поверхности клина. Кольца являются полосами равной толщины, так как места одинаковой толщины клина расположены вокруг точки соприкосновения концентрическими кругами.

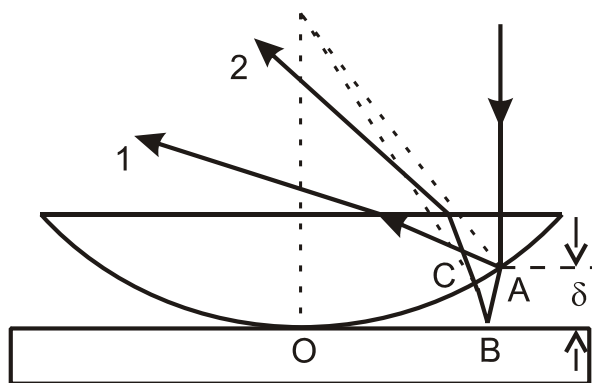


Рис. 1. Установка Ньютона

Произведем расчет размеров колец Ньютона в отраженном свете (рис.1). Разность хода интерферирующих лучей определяется толщиной воздушного зазора в рассматриваемой точке. Так как кривизна линзы очень мала, можно считать фронт волны совпадающим с верхней границей воздушного клина. Геометрическая разность хода для интерферирующих лучей равна:

$$AB + CD \approx 2\delta,$$

где δ – толщина зазора в данном месте. Учитывая потерю полуволны при отражении от более плотной среды, можно записать полную оптическую разность хода

$$\Delta = 2\delta + \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

(показатель преломления для воздуха $n = 1$).

Для точки O : $\delta = 0$, $\Delta = \frac{\lambda}{2}$, т.е. в центре картины темное пятно.

Толщина воздушной прослойки δ вычисляется из геометрических соображений (рис. 2):

$$r^2 = R^2 - (R - \delta)^2,$$

где R – радиус кривизны линзы.

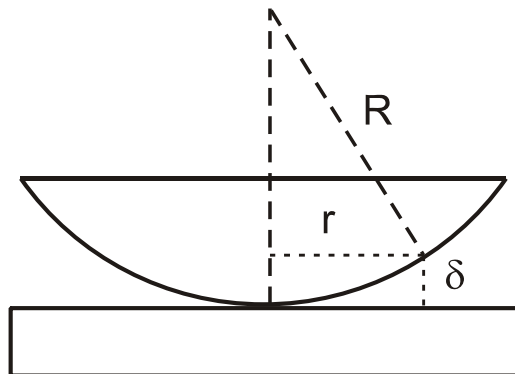


Рис. 2. Геометрическая схема установки

Так как $\delta \ll R$, то δ^2 можно пренебречь, тогда:

$$\delta = \frac{r^2}{2R}. \quad (4)$$

Учитывая условие образования m -го темного кольца (1), можно записать

$$2\delta_m + \frac{\lambda}{2} = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}, \quad (5)$$

где δ_m – толщина зазора, соответствующая m – му темному кольцу.
Используя (4), получим

$$r_m^2 = mR\lambda, \quad (6)$$

здесь r_m – радиус m -го темного кольца.

Однако, полученное выражение (6) справедливо только при идеальном соприкосновении линзы и пластинки в одной точке. Практически этого невозможно добиться, так как при их контакте происходит взаимная деформация, приводящая к убыли зазора между ними в воздушном клине на величину x (рис. 3).

В этом случае условие образования темных колец имеет вид

$$2(\delta_m - x) + \frac{\lambda}{2} = (2m + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}. \quad (7)$$

Подставляя (4) в (7) и учитывая, что $r_m = \frac{D_m}{2}$, где D_m – диаметр m -го

темного кольца, получим:

$$D_m^2 = 4R\lambda m + 8Rx \quad (8)$$

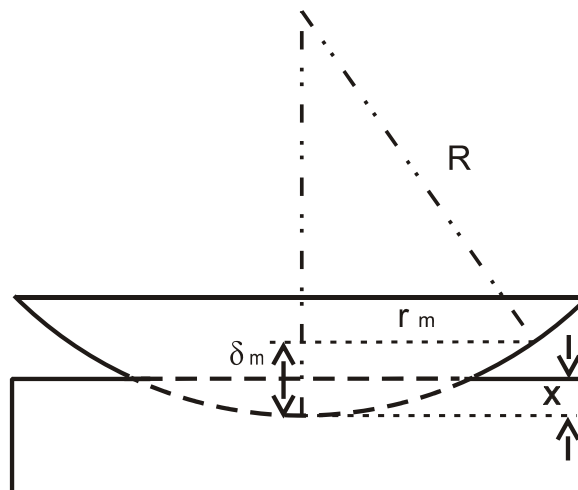


Рис. 3. Деформация линзы и пластинки

График зависимости D_m^2 от m (рис. 4) имеет вид прямой с тангенсом угла наклона

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{D_j^2 - D_i^2}{j - i} = 4R\lambda, \quad (9)$$

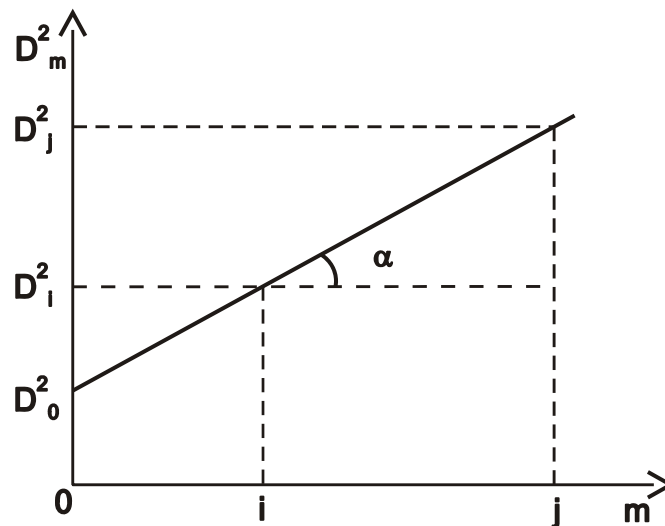


Рис. 4. Зависимость D_m^2 от m

где D_j и D_i – диаметры j -го и i -го колец Ньютона соответственно.

Из формулы (9) можно найти выражение для определения R или λ :

$$R = \frac{D_j^2 - D_i^2}{4(j - i)\lambda}, \quad (10)$$

$$\lambda = \frac{D_j^2 - D_i^2}{4(j - i)R} \quad (11)$$

Зависимость D_m^2 от m позволяет найти также x – величину деформации линзы и пластинки, поскольку прямая на графике (см. рис. 4) отсекает на оси ординат отрезок $D_0^2 = 8Rx$, откуда

$$x = \frac{D_0^2}{8R}. \quad (12)$$

Описание установки и методика измерений.

В работе применяется микроскоп с окулярным микрометром 1 (рис. 5). На предметном столике микроскопа помещается полированная пластинка из черного стекла, на которой с помощью особой обоймы укреплена линза малой кривизны 2. Опак-иллюминатор 3 служит для освещения непрозрачных предметов, рассматриваемых под микроскопом. Принцип действия opak-иллюминатора понятен из рис. 6. Свет от источника S падает на тонкую стеклянную пластинку 1, отразившись от нее, проходит через объектив 2 и падает на поверхность исследуемой линзы 3. Отражившись от линзы, свет снова проходит через объектив, пластинку 1 и попадает через окуляр в глаз наблюдателя. Пластинку можно вращать вокруг горизонтальной оси для нахождения наилучших условий для освещения.

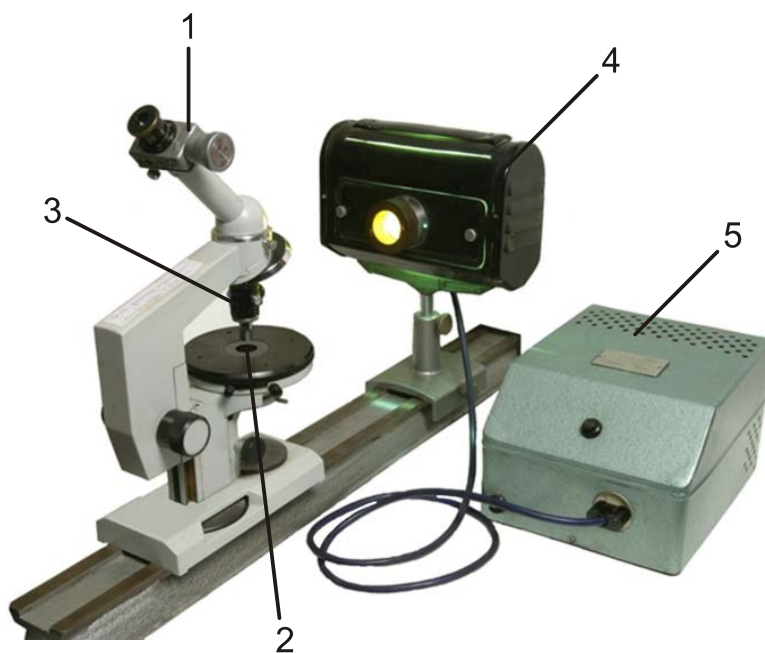


Рис. 5. Внешний вид установки

В качестве источника линейчатого спектра используется дуговой разряд в парах ртути ртутно-кварцевой лампы ПРК-4 (обозначение 4 на рис. 5). Лампа включается через блок питания 5 в сеть переменного тока 220 В. В момент зажигания дуги ток через лампу достигает 6-7 А. Рабочий режим лампы

устанавливается в течение 10-15 минут, в это время ток равен 3,75 А. Повторное включение нагретой лампы возможно только через 10-15 минут. За это время лампа охлаждается, давление паров ртути понижается и напряжение зажигания становится ниже напряжения, питающего лампу. Лампа, наряду с видимыми лучами, излучает также ультрафиолетовые лучи, которые при длительном воздействии на кожу и глаза человека могут вызвать ожоги. Поэтому в установке должна быть предусмотрена соответствующая защита.

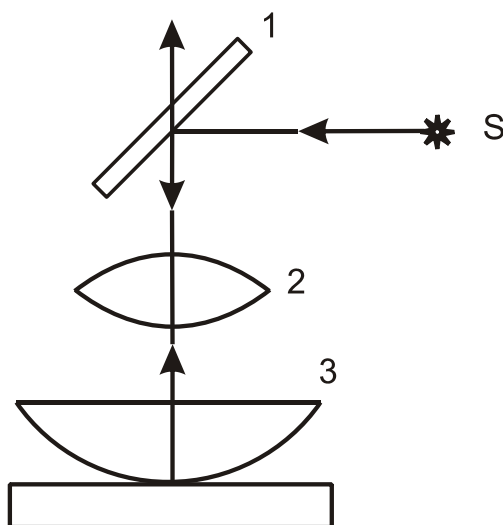


Рис. 6. Принцип действия opak-иллюминатора

Спектр ртути состоит из немногих отдельных ярких линий, из которых удобными для наблюдения являются желтая, зеленая и фиолетовая. Их можно выделить с помощью соответствующих фильтров. Светофильтры, применяемые в данной работе, выделяют зеленую линию ($\lambda = 5461 \text{ \AA}$) и желтую (длину волны которой надо определить в работе).

Порядок выполнения работы

1. Определение радиуса кривизны линзы.

1. Зажигают ртутную лампу, поместив в окно защитного кожуха лампы зеленый светофильтр, наблюдают через окуляр микроскопа кольца Ньютона.

Картина колец должна быть достаточно четкой, освещенной и расположенной симметрично.

2. Определяют диаметры колец Ньютона. Для этого, вращая барабан окулярного микрометра, устанавливают крест нитей на какое-нибудь достаточно удаленное от центра влево m -е кольцо (например, 20-е) и делают отсчет по шкале и барабану окулярного микрометра. Аналогично производят отсчеты положений 19, 18, ..., 1-го кольца и, пройдя центральное пятно, продолжают отсчеты вправо от него, доходя до того-же 20-го кольца. Результаты отсчетов записывают в таблицу 1.

Таблица 1

Номер кольца	Левый отсчет	Правый отсчет	D	D^2
1				
2				
·				
·				
·				
20				

Учитывая цену деления окулярного микрометра, по разнице значений правого и левого отсчетов находят диаметры (D) колец Ньютона и их квадраты (D^2).

3. Строят график зависимости квадрата диаметра колец D_m^2 от их номера m (прямую можно провести по методу наименьших квадратов).

4. Из этой зависимости находят радиус кривизны линзы R по формуле (10).

5. Оценивают погрешность определения R , результат представляют в виде доверительного интервала.

2. Определение длины волны жёлтой линии в спектре ртути.

1. Не нарушая установки микроскопа, заменяют зелёный светофильтр жёлтым.

2. Повторяют все измерения задачи 1, записывая отсчеты в таблицу 2, аналогичную таблице 1.

3. Строят график зависимости квадрата диаметра колец D_m^2 от их номера m (прямую можно провести по методу наименьших квадратов).

4. Из этой зависимости находят длину волны λ , вычисляя ее по формуле (11), в которую подставляют значение R , найденное в первом упражнении.

5. Оценивают погрешность определения λ , результат представляют в виде доверительного интервала.

Из данных, полученных с зеленым и желтым светофильтрами, находят x – величину деформации линзы и пластинки по формуле (12).

Сравнивают размер центрального темного пятна в картине колец Ньютона с величиной D_0 , полученной из графиков.

При подготовке к работе необходимо изучить следующие разделы:

1. Интерференция световых волн. Когерентные колебания.
2. Способы наблюдения интерференции света.
3. Связь разности фаз и разности хода. Оптическая разность хода.
4. Полосы равной толщины и равного наклона.
5. Кольца Ньютона.
6. Оптическая схема установки.
7. Оценка погрешности измерений.

Для углубленного изучения поставленных в работе задач рекомендуем также ознакомиться со следующими вопросами:

1. Апертура интерференции.
2. Влияние размеров источника на интерференционную картину.
3. Роль толщины пленки в интерференции.
4. Влияние немонахроматичности источника.

Контрольные вопросы

1. Объясните, как образуются кольца Ньютона в отраженном и проходящем свете? Где локализована интерференционная картина?

2. Чем будет отличаться картина колец Ньютона в проходящем свете от картины в отраженном свете? В каком случае картина будет более контрастна, почему?

3. Почему в центре колец Ньютона в отраженном свете получается пятно? От чего зависит его размер?

4. Почему в опытах по наблюдению колец Ньютона в отраженном свете не принимают во внимание возможность интерференции на самой плосковыпуклой линзе?

5. Можно ли при наблюдении колец Ньютона использовать достаточно протяженный источник света?

6. При наблюдении в отраженном свете центральный круг оказался светлым. Как можно «исправить» интерференционную картину?

7. Как по графику зависимости D_m^2 от m определить, есть ли зазор между линзой и пластинкой или они сильно прижаты друг к другу?

8. Где плотнее расположены интерференционные кольца – в центре или на периферии? Почему?

9. Почему интерференционная картина исчезает при увеличении расстояния между линзой и пластинкой?

10. Почему радиус кривизны линзы должен быть велик?

11. Можно ли получить такие кольца Ньютона, чтобы их можно было наблюдать без микроскопа?

12. Как изменится картина колец Ньютона, если линзу вместо плоской пластинки положить на вогнутую линзу меньшей кривизны? На выпуклую линзу той же кривизны? Какой вид будет иметь интерференционная картина, если вместо сферической использовать цилиндрическую линзу?

13. Как изменится картина колец Ньютона, если пространство между линзой и пластинкой заполнить водой? Показатели преломления воды и стекла соответственно 1,33 и 1,5.

14. Как изменится картина колец Ньютона, если показатель преломления n прослойки будет иметь промежуточное значение между показателями преломления пластинки и линзы (т. е. $n_{\text{линзы}} < n < n_{\text{пласт.}}$)?

15. Как будет изменяться интерференционная картина, если линзу постепенно отодвигать от пластинки?

16. Изменится ли размер темного пятна при смене светофильтра?

Литература

1. С.Э. Фриш, А.В. Тиморева. Курс общей физики // СПб.: Издательство "Лань", 2006, т.3, §§ 256, 261-263.

2. Д.В. Сивухин. Общий курс физики // М.: Физматлит, Издательство МФТИ, 2002, т.4, §§ 26-30, 33.