

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА КРИВИЗНЫ ЛИНЗЫ ПРИ ПОМОЩИ КОЛЕЦ НЬЮТОНА

Цель работы: изучение интерференции и измерение радиуса кривизны линзы.

Приборы и принадлежности: микроскоп с окулярным микрометром, осветитель, исследуемая линза, стеклянная пластинка, светофильтр, отражатель.

Введение

Интерференция света относится к числу явлений, свойственных волновым процессам, и заключается в наложении световых волн, сопровождающемся их взаимным усилением или ослаблением в области совместного распространения. Устойчивая интерференционная картина наблюдается в случае суперпозиции когерентных волн, линейно-поляризованных в одной плоскости. Когерентными волнами являются монохроматические волны (световые волны с какой-либо одной частотой колебания), колебания в которых происходят с постоянной разностью фаз. Естественные источники света одинаковых частот излучают волны, неспособные интерферировать, что объясняется самим механизмом излучения. Волны света излучает каждый атом в отдельности, причем это излучение длится лишь очень короткое время. Атом снова начинает излучать лишь после того, как получит извне запас энергии. Новая порция излучения атома совершенно не связана с предыдущим излучением, атом полностью "забывает" характеристики предыдущего излучения. Никак не связаны и не согласованы между собой и колебания излучения атомов, принадлежащих различным телам, различным источникам излучения.

Испускание света атомами нагретых тел носит статистический характер, т.е. все характеристики излучения (длительность, начальные фазы каждой порции излучения и т.д.) каждый раз принимают случайные значения вблизи своих средних. Поэтому разность фаз колебаний, создаваемых двумя независимыми источниками оптического излучения, не остается постоянной - она хаотически меняется с течением времени. Это приводит к неустойчивости картины интерференции от двух независимых источников, а именно: интерференционные максимумы

быстро сменяются минимумами. Человеческий глаз в силу своей инерционности воспринимает усредненную по времени картину. Поэтому освещенная поверхность воспринимается как равномерно освещенная.

Свет, способный интерферировать, можно получить только разделив каким-нибудь искусственным способом один луч на две части, направив их по различным путям, разность длин которых должна быть меньше длины элементарного цуга волн, излучаемых атомом или молекулой.

Приборы и методы измерений

Способы наблюдения интерференционной картины от одного естественного источника осуществляются различными методами, одним из которых является метод "колец Ньютона", заключающийся в следующем. Положим плоско-выпуклую линзу выпуклой стороной на отполированную с большой точностью плоскую стеклянную пластинку и осветим монохроматическим светом. Между линзой и пластинкой образуется тонкая воздушная прослойка. Лучи света, отраженные от верхней и нижней границ этой прослойки, интерферируют друг с другом. В результате виден ряд concentрических темных и светлых колец ("колец Ньютона"), окружающих центральное темное пятно, образующееся в точке соприкосновения линзы и пластинки. Каждое кольцо соответствует одной и той же толщине воздушной прослойки. Расстояние между кольцами зависит от толщины линзы. Измеряя диаметры колец, получаем возможность вычислить радиус кривизны линзы.

Волны монохроматического света, падающего сверху на линзу, пройдя линзу, расщепляются на две отраженные. Первая (1 – 1) образуется отражением от кривой поверхности линзы, вторая (1 – 2) - отражением от плоской пластины. Там, где эти две волны сходятся вместе, они, интерферируя, усиливают или ослабляют друг друга в зависимости от приобретенной ими разности фаз. Кривизна линзы достаточно мала, поэтому можно считать, что луч, отраженный от плоской пластинки, проходит путь больше чем луч, отраженный от кривой поверхности линзы, на удвоенную толщину прослойки δ_m (см. рис. 1). Следовательно, разность хода лучей равна $2\delta_m$. Кроме того, опыт показывает, что отражение волн от среды с большим показателем преломления происходит с изменением фазы скачком на противоположную. Это равносильно потере половины длины волны в разности хода. Поэтому полная разность хода будет:

$$2\delta_m + \frac{\lambda}{2}.$$

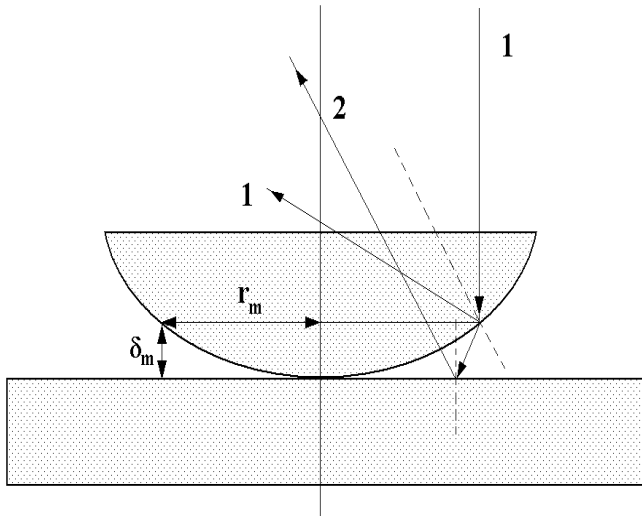


Рис. 1: Ход лучей в линзе

Пусть на расстояние r_m от точки соприкосновения линзы и пластинки эта разность хода равна нечетному числу полуволен, то есть:

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

Здесь m - целое число. Тогда фазы колебаний двух интерферирующих волн будут противоположны. Вследствие интерференции происходит гашение колебаний, и мы увидим темное кольцо с радиусом r_m . В том случае, когда разность хода равна четному числу полуволен, колебания происходят в одной фазе, лучи вследствие интерференции усиливают друг друга, и здесь формируется светлое кольцо.

Установим соотношение между радиусом r_m темного кольца и радиусом кривизны линзы R . По теореме Пифагора из рис. 2 следует:

$$R^2 = r_m^2 + (R - \delta_m)^2,$$

$$r_m^2 = (2R - \delta_m)\delta_m.$$

В условиях разбираемой задачи δ_m сравнима с длиной световой волны, то есть $\delta_m \sim 10^{-4}$ см, R - порядка десятка сантиметров. Поэтому величиной δ_m по сравнению с $2R$ можно пренебречь. Получаем:

$$r_m^2 = 2R\delta_m. \quad (2)$$

С другой стороны, из уравнения (1) следует, что

$$\delta_m = \frac{m\lambda}{2}.$$

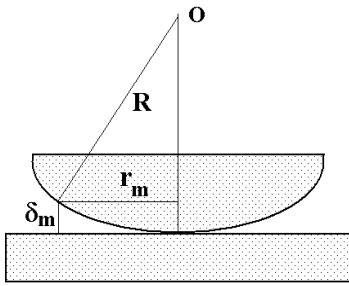


Рис. 2: К расчету радиуса кольца

Подставляя последнее выражение в (2), получаем, что

$$R = \frac{r_m^2}{m\lambda}. \quad (3)$$

При $m = 0$ радиус кольца также равен нулю, поэтому центральное пятно темное. При $m = 1$ получаем радиус первого темного кольца и т.д. Зная длину волны света, радиус и порядок темного кольца, по формуле (3) можно вычислить радиус кривизны линзы R .

Для радиуса светлого кольца получается другая формула, вывод которой выполняется студентами самостоятельно.

Описание прибора

Прибор состоит из микроскопа, к предметному столику которого прикреплена стеклянная полупрозрачная плоскопараллельная пластинка. На эту пластинку кладется линза, радиус кривизны которой определяется. На столик ставится отражатель для освещения линзы отраженным светом от источника со светофильтром. В окуляре микроскопа имеется отсчетная шкала, цена деления которой указана на приборе.

Порядок выполнения работы

1. Включить источник света.
2. Перемещая окуляр, добиваются четкого изображения шкалы.
3. Перемещая тубус микроскопа, достигают резкого изображения колец.
4. Поворачивая окуляр микроскопа относительно тубуса, располагают ось шкалы окуляра так, чтобы она проходила через центр среднего темного пятна.
5. По шкале окуляра измеряют диаметр одного из темных колец. Для этого необходимо:

а) определить порядок взятого кольца, то есть число m в формуле (3),
 б) отсчитать по шкале положение точек пересечения кольцом шкалы справа и слева от центрального темного пятна. Эти отсчеты в делениях шкалы микрометра обозначаются a и b . Результаты записываются в таблицу. Кольца тем толще, чем ближе к центру. Поэтому ближайшие к центру неудобны для отсчета и ими не следует пользоваться. Отсчет следует вести против середины темной полосы.

6. Производят отсчет для пяти колец.

7. Повернув шкалу на 90° , повторить измерения.

Обработка результатов измерений

1. Разность двух отсчетов $a - b$ равна диаметру темного кольца, выраженному в делениях шкалы микроскопа. По цене деления шкалы микроскопа следует найти радиус кольца в миллиметрах.

2. По формуле (3) вычислить радиус кривизны линзы по данной длине волны света.

3. Найти среднее значение R , отклонение от среднего значения в отдельных опытах и среднюю квадратическую ошибку.

4. Среднее значение и величину ошибки определить для каждого положения шкалы отдельно.

Первое положение шкалы

Длина волны света $\lambda =$

Цена деления микроскопа ...

№	Порядок кольца m	Отсчет справа a	Отсчет слева b	$a - b = 2r_m$	r_m	R_i	$\delta i = R' - R_i$	$(\Delta i)^2$
1								
2								
...								
n_1								

При первом положении шкалы

$$R' = \frac{\sum R_i}{n_1} \quad i = 1, 2, \dots, n_1$$

$$m_1 = \sqrt{\frac{\sum (\Delta i)^2}{n_1 - 1}}$$

Второе положение шкалы

№	Порядок кольца m	Отсчет справа a	Отсчет слева b	$a - b =$ $2r_m$	r_m	R_i	$\delta i =$ $R'' - R_i$	$(\Delta i)^2$
1								
2								
...								
n_2								

При втором положении шкалы

$$R'' = \frac{\sum R_i}{n_2} \quad i = 1, 2, \dots, n_2$$

$$m_2 = \sqrt{\frac{\sum (\Delta i)^2}{n_2 - 1}}$$

Окончательный результат:

$$R = R_{cp} \pm m_{cp}$$

$$R_{cp} = \frac{R' + R''}{2}$$

$$m_{cp} = \frac{m_1 + m_2}{2}$$

Вопросы

1. В чем сущность явления интерференции?
2. Какие колебания называются когерентными и как получить когерентные световые волны?
3. Что называется геометрической и оптической длиной пути?
4. Что называется оптической и геометрической разностью хода?
5. Укажите условия формирования максимума и минимума при интерференции.
6. Нарисуйте ход лучей в приборе для наблюдения колец Ньютона. Укажите где и почему возникает разность хода.
7. Напишите формулу разности хода для тонкого слоя.
8. Что называют линиями равной толщины? Где они образуются? Приведите примеры.
9. Объясните происхождение интерференционной картины колец Ньютона в отраженном свете.

Литература

1. И. В. Савельев, Курс общей физики, т. 2, 1988, § 122.
2. Т. И. Трофимова, Курс физики, 1985, § 175.
3. Н. П. Калашников, М. А. Смондырев, т. 2, 2003, § 24.6.