

Лабораторная работа № 5

Определение радиуса кривизны линзы и длины световой волны с помощью колец Ньютона

Задача посвящена ознакомлению с явлением интерференции в тонких прозрачных изотропных пластинках, в частности, когда интерференционная картина локализована на поверхности тонкого клина (полосы равной толщины). Наблюдение интерференции с помощью колец Ньютона представляет собой наиболее простой метод изучения этого явления и определения длины световой волны.

Этот метод может быть применен также для измерения углов тонких стеклянных клиньев и для определения профилей несферических поверхностей.

Кольца Ньютона наблюдаются в том случае, когда выпуклая поверхность линзы малой кривизны соприкасается с плоской поверхностью хорошо отполированной пластинки; при этом остающаяся между ними воздушная прослойка постепенно утолщается от центра к краям. Если на линзу падает пучок монохроматического света, то световые волны, отраженные от верхней и нижней границ этой воздушной прослойки, будут интерферировать между собой.

При этом получается следующая картина: в центре - черное пятно, окруженное рядом concentрических светлых и черных колец убывающей ширины. При наблюдении в проходящем свете будет обратная картина: пятно в центре будет светлым, все светлые кольца заменятся темными и наоборот.

Произведем расчет размеров колец Ньютона в отраженном свете.

Так как интерференция происходит между волнами, отраженными от верхней и нижней поверхностей воздушной прослойки, то для вычисления разности фаз надо иметь в виду не только разность хода внутри воздушной прослойки, но также и изменение фазы электрического и магнитного векторов при отражении на границах стекло-воздух и воздух-стекло. Это изменение приводит как для того, так и для другого вектора к дополнительной разности фаз, равной π . При этом для электрического вектора первое отражение происходит без изменения фазы, а второе с изменением фазы на π , для магнитного же вектора - наоборот. В результате, как для того, так и для другого вектора приобретает дополнительную разность хода $\lambda/2$, следовательно, полная оптическая разность хода

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

где δ_m – толщина воздушной прослойки (показатель преломления воздуха $n_1 = 1$) легко вычисляется из геометрических соображений (рис. 1).

$$\delta_m = \frac{r_m^2}{2R}, \quad (2)$$

где r_m – радиус m -го кольца и R – радиус кривизны линзы.

Условие образования m -го темного кольца имеет вид:

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}. \quad (3)$$

Из формул (1), (2) и (3) получаем:

$$r_m = \sqrt{m r \lambda}. \quad (4)$$

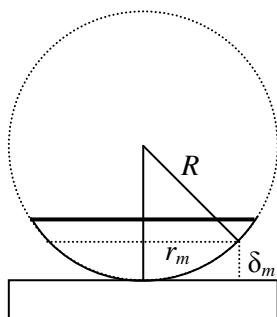


Рис. 1.

Чем больше m , тем меньше различие между радиусами соседних колец, т.е. тем теснее кольца.

Для радиуса светлого кольца будем иметь:

$$r_m = \sqrt{(2m - 1)R \frac{\lambda}{2}}. \quad (5)$$

Из формул (4) или (5) можно определить R (или λ), но так как вследствие упругой деформации стекла невозможно добиться соприкосновения сферической линзы и плоской пластинки строго в одной точке, то более правильный результат получится, если вычислять R (или λ) по разности двух колец r_m и r_n ; тогда конечная формула будет иметь следующий вид:

$$R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{(m - n)\lambda}. \quad (6)$$

Для расчетов это выражение удобно переписать так:

$$R = \frac{(r_m - r_n)(r_m + r_n)}{(m - n)\lambda}. \quad (7)$$

Упражнение 1.

Определение радиуса кривизны линзы.

Измерения:

1) Зажигают ртутную лампу, поместив у окна защитного кожуха светофильтр, выделяющий зеленую линию ртути ($\lambda = 5460 \text{ \AA}$, $1 \text{ \AA} = 1 \text{ ангстрем} = 10^{-10} \text{ м}$).

2) Сняв линзу, фокусируют микроскоп на верхнюю поверхность черного стекла, положив на него кусок миллиметровой бумаги. Поставив затем линзу в прежнее положение, устанавливают черную пластинку так, чтобы точка соприкосновения линзы и пластинки попала точно в центр поля зрения микроскопа. При этом образующиеся на границе воздушного слоя и линзы ньютонovy кольца должны быть отчетливо видны. Если этого не будет, то, не снимая линзы, исправляют фокусировку микроскопа. Если в точке соприкосновения вместо темного кольца получится светлое, то это значит, что между поверхностями линзы и стекла имеются пылинки; последние следует удалить при помощи замши¹.

3) Вращая барабан окулярного микрометра, устанавливают его крест на середину ширины линии какого-нибудь достаточно удаленного от центра темного кольца, например, 20-го вправо, и производят отсчет по шкале и барабану окулярного микрометра. Смещая положение креста микрометра, повторяют измерение одного и того же кольца несколько раз и находят среднее значение. После этого, вращая барабан окулярного микрометра, наводят крест последовательно на 19-е, 18-е, 17-е и т.д. кольца и производят такие же отсчеты в том же направлении, т.е. вправо от центрального пятна, доходя до того же 20-го кольца. Прodelьвают такие же измерения со светлыми кольцами.

Если в поле зрения не видно полностью двадцать колец, то сначала измеряют диаметр центрального пятна, затем передвигают столик с линзой так, чтобы был виден край центрального пятна (правый или левый), и начинают от него вправо или влево снимать отсчёты для двадцати тёмных колец. По полученным данным находят их радиусы, которые и подставляются в формулы (6) или (7).

¹ Эта часть не выполняется, так как обычно всё настроено.

Вычисления:

Из полученных отсчетов определяют диаметры, а затем и радиусы колец, по формуле (7) определяют радиус кривизны линзы.

При этом в целях повышения точности результатов рекомендуется комбинировать радиус кольца номер k (четного) с радиусом кольца номер $\frac{k}{2}$, кольца $k - 1$ (нечетного) – с $\frac{k}{2} - 1$, и т.д. (20-е с 10-м, 19-е с 9-м и т.д.). Из полученных значений R берут среднее арифметическое. Здесь k – общее количество колец.

Упражнение 2.

Определение длин волн линий ртути.

1. В окно защитного колпака лампы вставляют светофильтр, выделяющий желтую или фиолетовую линию ртути; повторяют все измерения, указанные в упражнении 1.

2. Подставляя в формулу (7) значение радиуса кривизны линзы R , найденное в первом упражнении, определяют длину волны выделенной ртутной линии.

3. Можно определить длину волны линии ртути графическим методом.

Составив таблицу:

№ кольца	Отсчёт микрометра (левый)	Отсчёт микрометра (правый)	Диаметр D	D ²
20				
19				
*				
*				
1				

строят график, откладывая по оси ординат квадраты диаметров, а по оси абсцисс – номера колец. График должен быть прямой линией.

Длина волны λ определяется по тангенсу угла наклона прямой к оси абсцисс:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{D_n^2 - D_m^2}{n - m} = 4 R \lambda, \quad (8)$$

где R – радиус кривизны линзы.

Если известна длина волны, то таким же образом находится радиус кривизны линзы.

Литература.

1. Г.С.Ландсберг, Оптика, Гостехиздат, 1957.
2. С.Э.Фриш и А.В.Тиморева, Курс общей физики, т. III, Физматгиз, 1962.
3. Р.Вуд, Физическая оптика, ОНТИ, 1936.
4. М.Ф.Романова, Интерференция света и её применение, ОНТИ, 1937.
5. А.Н.Захарьевский, Интерферометры, Оборонгиз, 1962.
6. Р.Дитчберн, Физическая оптика, "Наука", 1962, гл.5.

Контрольные вопросы.

1. Каковы условия когерентности различных источников колебаний?
2. Как можно реализовать условие когерентности для световых пучков? Что такое пространственная когерентность световых пучков (источников света)? Что такое когерентность во времени? Как реализуются пространственно когерентные световые пучки? Как можно на опыте проверить пространственную когерентность пучка?
3. Почему обычные источники света некогерентны между собой? Как можно реализовать частично когерентные источники света?
4. В каких случаях результирующая освещенность объекта несколькими световыми пучками равна сумме освещенностей, создаваемых каждым пучком в отдельности?
5. В чём содержание принципов суперпозиции амплитуд и суперпозиции интенсивностей? В каких случаях на опыте выполняется тот или иной принцип?
6. Какие простейшие оптические опыты позволяют наблюдать явление интерференции света?
7. Как можно получить и зарегистрировать стоячие световые волны?
8. В чем заключается интерференционный опыт по схеме Юнга?
9. Как реализуются интерференционные опыты с бипризмой, бизеркалами?