

Работа 4.10

Определение радиуса кривизны линзы и величины деформации при помощи колец Ньютона

Оборудование: плоскопараллельная пластинка, плосковыпуклая линза, источник света, светофильтр, экраны.

Введение

Световая волна при падении на тонкую прозрачную пластинку или пленку отражается и преломляется на двух поверхностях. В результате возникают когерентные световые волны, которые могут интерферировать.

Рассмотрим случай, когда на пластинку в виде клина с углом θ при вершине падает пучок параллельных лучей (рис. 4.20).

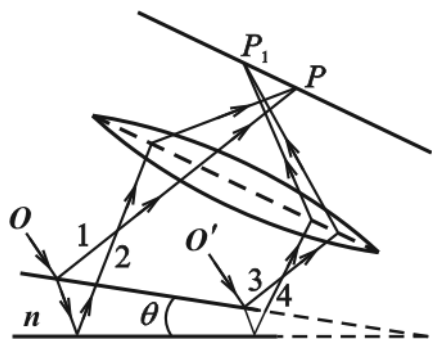


Рис. 4.20

Если лучи 1 и 2, на которые делится луч O , собрать линзой в точке P , они будут интерферировать, и при небольшом угле θ их разность хода будет определяться толщиной пластинки. Лучи 3 и 4, образовавшиеся при делении луча O' , который падает на другую точку пластинки, собираются линзой в точке P_1 . Разность хода этих лучей определяется уже другой толщиной пластинки. На экране возникнет система темных и светлых полос, каждая из которых образуется при отражении от тех мест пластинки,

которые имеют одинаковую толщину. В таком случае интерференционные полосы называются *полосами равной толщины*. При отражении и преломлении света в тонких плоскопараллельных пластинках образуются интерференционные *полосы равного наклона*. Примером полос равной толщины являются *кольца Ньютона*.

Описание установки и метода. Изучение интерференционной картины в виде колец Ньютона является наиболее простым методом исследования этого явления и определения длины световой волны. Этот метод можно использовать для измерения углов тонких стеклянных клинов и радиуса кривизны линз, определять профиль несферических поверхностей, а также величины деформации изделий из любого прозрачного вещества.

Кольца Ньютона наблюдаются в том случае, когда выпуклая поверхность линзы соприкасается с плоской поверхностью хорошо отполированной пластинки. Роль тонкой пленки играет воздушный зазор между линзой и пластинкой. Кольца Ньютона можно наблюдать как в отраженном, так и в проходящем свете (рис. 4.21).

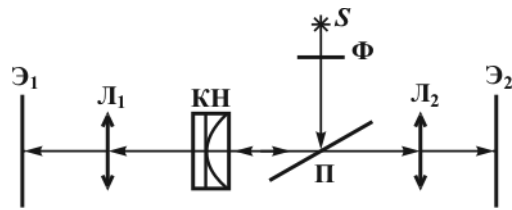


Рис. 4.21

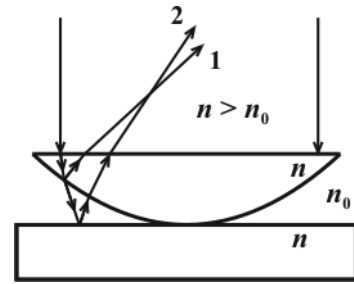


Рис. 4.22

Свет от источника S проходит через светофильтр Φ и падает на наклонную стеклянную пластинку Π . После отражения от пластинки свет попадает на устройство KH (плосковыпуклая линза и плоскопараллельная пластинка), где образуются кольца Ньютона. На экранах \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 при помощи линз \mathcal{L}_1 и \mathcal{L}_2 наблюдается увеличенная интерференционная картина в виде темных и светлых чередующихся концентрических колец.

Процесс образования интерференционных колец Ньютона в отраженном свете показан на рисунке 4.22.

Радиус k -го темного кольца Ньютона при наблюдении в отраженном свете можно выразить следующим образом:

$$r_k^2 = kR\lambda, \quad (1)$$

где λ — длина световых волн, R — радиус кривизны линзы.

Для темного кольца с номером m ($m > k$) будем иметь:

$$r_m^2 = mR\lambda. \quad (2)$$

Если от равенства (2) отнимем (1), то получим:

$$r_m^2 - r_k^2 = (m - k)R\lambda. \quad (3)$$

Определим из уравнения (3) радиус линзы:

$$R = \frac{r_m^2 - r_k^2}{(m - k)\lambda}. \quad (4)$$

Аналогичное выражение для радиуса кривизны линзы можно получить, рассматривая интерференционную картину колец Ньютона в проходящем свете.

Обычно при образовании колец Ньютона приходится прижимать линзу к пластинке, что приводит к их деформации в месте соприкосновения. Можно считать, что деформируются только небольшие участки линзы и пластинки вблизи от центра интерференционной картины. В остальных частях поверхность линзы остается сферической, а поверхность пластинки — плоской. Это подтверждается тем, что интерференционные полосы сохраняют форму концентрических окружностей с центром в точке соприкосновения линзы и пластинки.

Пусть R — радиус кривизны линзы, d_k — толщина воздушного клина, Δx — величина деформации (рис. 4.23).

Оптическая разность хода в точке наблюдения k -го темного кольца в отраженном свете удовлетворяет условию:

$$2d_k + \frac{\lambda}{2} = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}. \quad (5)$$

Из рисунка 4.23 следует, что

$$r_k^2 + [R - (d_k + \Delta x)]^2 = R^2.$$

Если не учитывать слагаемые второго порядка малости, получим

$$r_k^2 = 2R(d_k + \Delta x). \quad (6)$$

С учетом условия (5), квадрат радиуса k -го темного кольца

$$r_k^2 = Rk\lambda + 2R\Delta x. \quad (7)$$

Если построить график $r^2 = f(k)$, то в соответствии с формулой (7) должна получаться прямая линия, продолжение которой отсекает на оси ординат отрезок

$$r_0^2 = 2R\Delta x. \quad (8)$$

Зная радиус кривизны линзы (4) и определив по графику r_0^2 , можно вычислить величину деформации:

$$\Delta x = \frac{r_0^2}{2R}. \quad (9)$$

Порядок выполнения работы

Задание 1. Определение радиуса кривизны линзы и величины деформации.

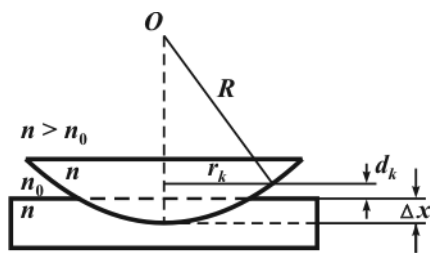


Рис. 4.23

1. Включите источник света.
2. Получите на экранах четкие, центрированные изображения интерференционной картины в отраженном и проходящем свете.
3. Наблюдайте за интерференционной картиной в белом свете. Убедитесь, что в центре картины в отраженном свете имеет место минимум, а в проходящем свете — максимум.

4. Определите коэффициент увеличения полученных изображений интерференционных картин.

5. Установите красный светофильтр ($\lambda = 760$ нм) и измерьте диаметры (D) темных колец для двух картин, учитывая коэффициент увеличения.

6. По формуле (4) вычислите радиус кривизны линзы и сравните значения R , полученные для интерференционных картин в отраженном и проходящем свете.

7. Постройте график зависимости $r^2(k)$, откладывая на оси абсцисс номер кольца Ньютона (масштаб 2 см), а на оси ординат — r_k^2 (масштаб 10 мм^2 — 2 см).

8. Пользуясь графиком и формулой (9), вычислите величину деформации Δx .

9. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу:

№ п/п	Γ_1	Γ_2	$D, \text{ м}$	$r, \text{ м}$	$r^2, \text{ м}^2$	$R, \text{ м}$	$\bar{R}, \text{ м}$	$\Delta x, \text{ м}$
-------	------------	------------	----------------	----------------	--------------------	----------------	----------------------	-----------------------

ЗАДАНИЕ ДЛЯ УИР

Установите характер изменения радиусов колец Ньютона при заполнении пространства между линзой и пластинкой вместо воздуха веществом с большим коэффициентом преломления.



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему интерференционная картина представляет собой систему чередующихся светлых и темных концентрических колец?

2. Как изменяется вид интерференционной картины, если наблюдение вести в проходящем и отраженном свете?

3. Почему для получения колец Ньютона используют линзы с большим радиусом кривизны?

4. Что получится, если в месте соприкосновения линзы и пластинки не будет оптического контакта?

5. Получите выражение для радиуса светлого k -го кольца Ньютона в отраженном и проходящем свете.

6. Как изменится интерференционная картина колец, если вместо монохроматического света установку осветить белым светом?

7. При каких условиях наблюдаются кольца Ньютона?

8. Почему в центре интерференционной картины наблюдается темное (отраженный свет) или светлое (проходящий свет) пятно?

9. Почему с удалением от центра интерференционной картины кольца Ньютона располагаются ближе друг к другу?

10. Почему в отраженном свете картина колец Ньютона более четкая?