

Лабораторная работа № 4-2 (Н):
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА КРИВИЗНЫ ПЛОСКОВЫПУКЛОЙ ЛИНЗЫ С ПОМОЩЬЮ
КОЛЕЦ НЬЮТОНА

Студент: _____ группа: _____

Допуск _____ Выполнение _____ Защита _____

Цель работы:

1. Определить радиус кривизны линзы R .
2. Ознакомиться с явлением интерференции в тонких пластинках на примере колец Ньютона.

Приборы и принадлежности: установка для определения радиуса кривизны линзы.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

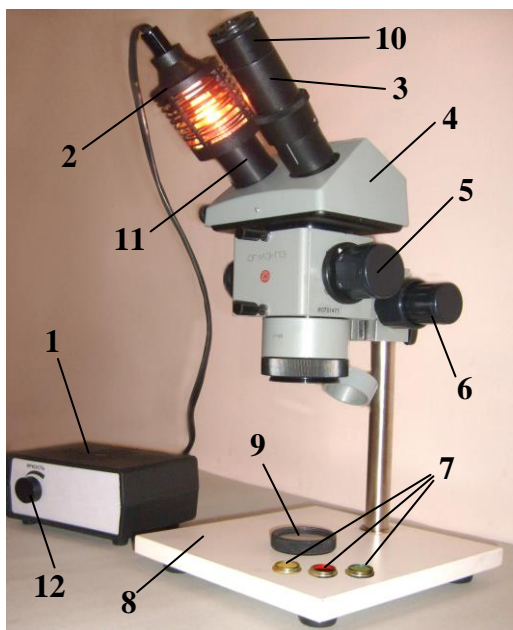


Рис. 3.

Установка состоит из головки оптической для микроскопа 4, устанавливаемой на основании со стойкой 8, линзы с пластиной 9 и комплекта светофильтров 7.

1. Линза с пластиной 9 представляет собой оправу, в которую помещены стеклянная пластинка и соприкасаемая с ней линза с большим радиусом кривизны.
2. Насадка для микроскопа 11 представляет собой трубку с разрезом и резьбой, позволяющую крепить её на место одного из окуляров. Внутренний диаметр насадки предусматривает возможность установки интерференционных светофильтров 7 и крепления осветителя микроскопа 2.
3. Комплект светофильтров состоит из 4 интерференционных светофильтров 7 в оправе, позволяющей вставлять их в насадку для микроскопа, они используются для вырезания определенной длины волны из излучения лампы микроскопа при измерении диаметров колец Ньютона.

Для измерения радиусов колец Ньютона используется головка оптическая для микроэлектроники 4 (в дальнейшем микроскоп). Для нормального падения света на линзу с пластиной 9 необходимо осветитель 2 при помощи насадки для микроскопа 11 закрепить на место одного из окуляров. Освещение колец производится

монохроматическим светом, вырезаемым одним из светофильтров 7, устанавливаемых в насадку для микроскопа 11.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. В правую окулярную трубку 3 оптической головки 4 установите окуляр 10 с отсчётной шкалой.
2. Вместо левого окуляра оптической головки 4 установлена насадка для микроскопа 11, в которую необходимо установить один из 4-х интерференционных светофильтров 7 (задаётся преподавателем) длина волны, которого указана на оправке.
3. В эту же насадку для микроскопа 11 установите осветитель микроскопа 2.
4. Подключите осветитель 2 к блоку питания 1 с тыльной стороны и включите его. Добейтесь нужной интенсивности можно вращая ручку «яркость» 12.
5. Установите на предметный столик 8 микроскопа линзу с пластинкой в оправе 9.
6. Вращая ручку 6 добейтесь отчетливой (резкой) картины в окуляре 10.
7. Переключите 5 увеличение объектива микроскопа на $0,6^x$ и, передвигая рукой линзу с пластинкой, отъюстируйте микроскоп до появления в окуляре микроскопа интерференционной картины колец Ньютона. Аккуратным перемещением линзы добейтесь совпадения центрального темного пятна интерференционной картины с центром поля зрения микроскопа.
8. Постепенно меняя увеличение микроскопа (с помощью ручки 5) в сторону увеличения отъюстируйте микроскоп до заполнения интерференционными кольцами всего поля окуляра (см. рис. 4).

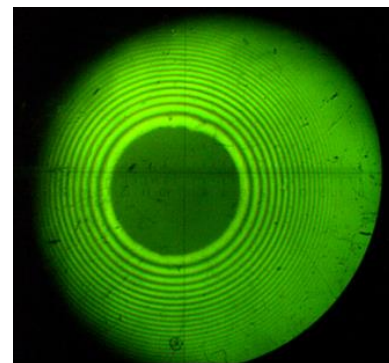


Рис. 4

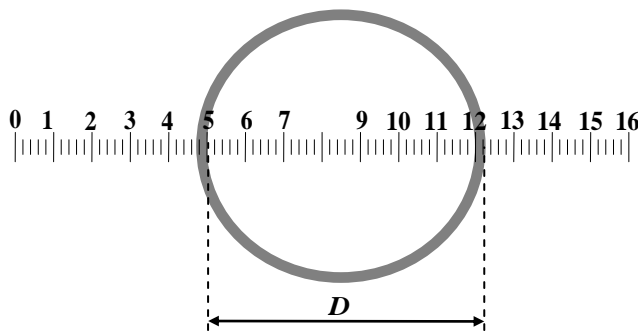


Рис. 5

9. Измерьте расстояние D между внешним и внутренними краями тёмных колец (номера колец задаёт преподаватель), как показано на рисунке 5. Нумерация колец производится от центра ($k = 0$ - центральное тёмное кольцо). Полученные результаты занесите в таблицу 1.
10. Поверните окуляр **10** на 90° и повторите измерения согласно п. 8., в результате которых получите D' . Полученные результаты занесите в таблицу 1.
11. По формуле $D_{icp} = \frac{D_i + D'_i}{2}$ определите средние значения диаметров колец (в делениях шкалы) и значения занесите в таблицу 1.
12. Отключите установку от сети.
13. Рассчитайте радиусы колец Ньютона r_{iN} (в делениях шкалы) и значения занесите в таблицу 1.
14. Найдите средние значения радиусов обоих тёмных колец r_{cp} с учётом цены деления шкалы окуляра

$$a_0 = 0.1 \frac{мм}{дел} :$$

$$r_{icp} = r_{iN} \cdot a_0 \quad (1)$$

15. Комбинируя попарно радиусы больших r_m и меньших колец r_k по формуле $R = \frac{r_m^2 - r_k^2}{\lambda(m-k)}$ определите радиусы кривизны линзы R_i , где λ - для световой волны, пропускаемой светофильтром, m .

16. Вычислите среднее значение радиуса кривизны линзы $\langle R \rangle = \frac{\sum R_i}{n}$, где n - число измерений.

17. Определите среднеквадратичную погрешность в определении радиуса кривизны линзы

$$S_{\langle R \rangle} = \sqrt{\frac{(R_i - \langle R \rangle)^2}{n(n-1)}} .$$

18. Конечный результат запишите в виде: $R = \langle R \rangle \pm t_{p,k} S_{\langle R \rangle}$,

где параметр Стьюдента для вероятности $p = 0.95$ и $n = 5$ равен $t_{p,k} = 2.8$

Таблица 1

Номера колец	$D_i, дел$	$D'_i, дел$	$D_{icp}, дел$	$r_{iN}, дел$	$r_{icp}, м$	$\Delta r, м$	$\lambda, нм$	$\Delta \lambda, нм$	$R_i, м$	$\Delta R, м$

Контрольные вопросы

1. Что такое свет? Что называется интерференцией света?
2. Дайте понятие о монохроматических и когерентных волнах.
3. Объясните причину интерференции света.
4. Дайте определение условиям максимума и минимума при интерференции света.
5. Объяснить оптическую схему "колец Ньютона" в отраженном свете.
6. Охарактеризуйте интерференционную картину в тонких пленках.

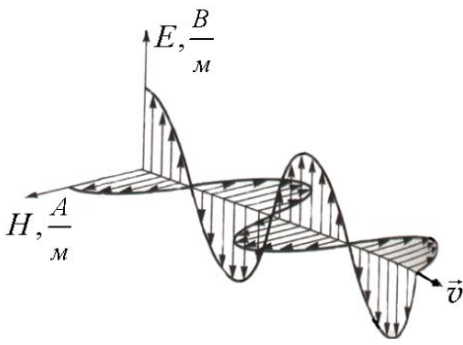


Рис.1 Распределение величины проекции векторов \vec{E} и \vec{H} на направление распространения волны

Светом называются электромагнитные волны с длиной от 380 нм до 760 нм, воспринимаемые органами зрения человека.

(1 нм (нанометр) = 10^{-10} м).

Электромагнитной волной называется распространяющееся в пространстве переменное электромагнитное поле.

Из электромагнитной теории света английского физика Дж. Максвелла следует, что в электромагнитной волне вектора напряжённости электрического поля \vec{E} и напряжённости магнитного поля \vec{H} колеблются в одинаковых фазах во взаимно перпендикулярных плоскостях и одновременно перпендикулярно вектору скорости распространения волны \vec{v} (перпендикулярно лучу). Причём в любой момент времени выполняется условие

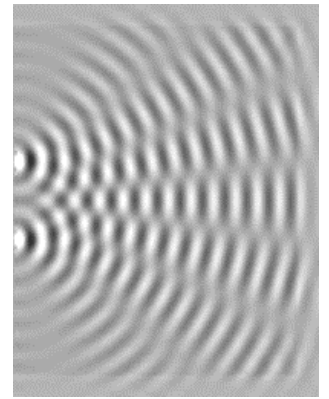
$$\epsilon\epsilon_0 E^2 = \mu\mu_0 H^2.$$

Интерференция света

Интерференцией света называется явление перераспределения световой энергии в пространстве, то есть усиление света в одних точках пространства и ослабление света в других точках пространства, в результате наложения когерентных световых волн.

Когерентными называются волны, разность фаз между которыми не изменяется с течением времени (когерентными могут быть только волны одинаковой частоты).

Монохроматическими называются волны какой-либо одной частоты (или длины волны). Интерференция – одно из проявлений волновой природы света. Это явление наблюдается при наложении двух или нескольких когерентных световых волн. Интенсивность света в области перекрытия световых пучков имеет характер чередующихся светлых и темных полос, причем в максимумах интенсивность света больше, а в минимумах меньше суммы интенсивностей отдельных пучков. Наблюдаемое при этом перераспределение света называется **интерференционной картиной**. При использовании белого света интерференционные полосы оказываются окрашенными в различные цвета спектра.



Оптическая длина пути L и оптическая разность хода волн Δ

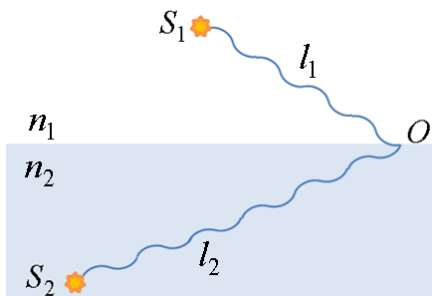


Рис. 2 Возникновение оптической разности хода лучей

Пусть две волны создаются когерентными источниками S_1 и S_2 и до точки O проходят разные **геометрические длины путей** l_1 и l_2 в средах с абсолютными показателями преломления n_1 и n_2 соответственно (рис. 2).

Оптической длиной пути L называется произведение геометрической длины пути l световой волны на абсолютный показатель преломления вещества n , в котором она распространяется волны $L = nl$.

Величину $\Delta = L_1 - L_2 = n_2 l_2 - n_1 l_1$ называют **оптической разностью хода** интерферирующих волн, (Δ -дэльта, метр).

где $L = ln$ - оптическая длина пути светового луча, м,

$\Delta = L_2 - L_1 = l_2 n_2 - l_1 n_1$ - оптическая разность хода интерферирующих лучей, м,

n_1 и n_2 - абсолютные показатели преломления 1-ой и 2-й среды, в которых

распространяются интерферирующие лучи.

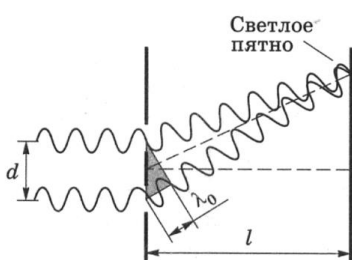
l_1 и l_2 - геометрические длины путей 1-го и 2-го лучей, м.

Условие максимума при интерференции света

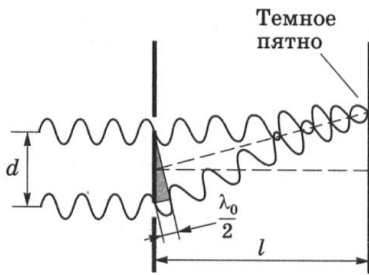
Если оптическая разность хода Δ интерферирующих лучей равна чётному числу полуволин $\frac{\lambda}{2}$, то будет наблюдаться **максимум** (в этом случае волны приходят в данную точку пространства в одинаковой фазе)

$$\Delta_{\max} = 2k \frac{\lambda}{2},$$

где $\Delta = L_2 - L_1 = S_2 n_2 - S_1 n_1$ - оптическая разность хода интерферирующих лучей, м



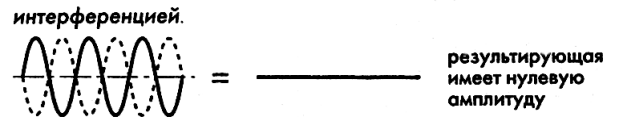
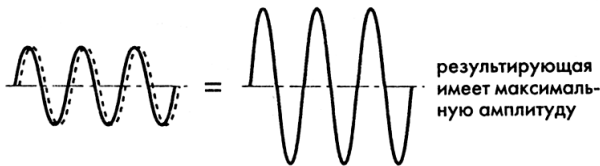
Условие минимума при интерференции света



Если оптическая разность хода Δ интерферирующих лучей равна нечётному числу полуволн $\frac{\lambda}{2}$, то будет наблюдаться **минимум** (в этом случае волны приходят в данную точку пространства в противофазе)

$$\Delta_{\min} = (2k + 1) \frac{\lambda}{2},$$

где $\Delta = L_2 - L_1 = S_2 n_2 - S_1 n_1$ - оптическая разность хода интерферирующих лучей, M



Причина интерференции световых волн

Как объяснить необычное для нас явление, когда при взаимодействии света вдруг образуются тёмные пятна? Обычно, чтобы в комнате стало ярче, мы включаем больше лампочек и никогда не наблюдаем, что где-то становится темнее. Объясняется это следующим образом.

Для возникновения интерференции необходимо, чтобы световые волны были когерентными между собой. Однако естественные источники света являются некогерентными, поэтому при обычных условиях мы интерференцию не наблюдаем. Самый простой способ получения когерентного света из естественного, состоит в разделении одной и той же световой волны на несколько волн, например, при отражении или преломлении света. Если затем заставить эти волны пройти разные оптические пути, а затем наложить их друг на друга, то может наблюдаться интерференция света. Это и происходит при возникновении колец Ньютона и в опыте Юнга.

Однако для интерференции световых волн недостаточно одного условия их когерентности. Необходимо ещё, чтобы интерферирующие волны имели одинаковую плоскость поляризации, то есть одинаковые направления колебаний вектора напряжённости электрического поля \vec{E} . В этом случае возможны две ситуации:

1. если в данную точку пространства волны приходят в одинаковой фазе, с одинаковой плоскостью поляризации, то направления колебаний векторов \vec{E}_1 и \vec{E}_2 оказываются сонаправленными. В этом случае согласно принципу суперпозиции результирующее поле равно $E_{рез} = E_1 + E_2$ и будет наблюдаться усиление света в этой точке пространства (то есть условие максимума),
2. если в данную точку пространства волны приходят в противофазе, с одинаковой плоскостью поляризации, то направления колебаний векторов \vec{E}_1 и \vec{E}_2 оказываются противоположно направленными. В этом случае согласно принципу суперпозиции результирующее поле равно $E_{рез} = E_1 - E_2$ и будет наблюдаться ослабление света в этой точке пространства (то есть условие минимума)

Интерференция света в тонких плёнках

Тонкими называются плёнки, в которых возможно наблюдение интерференции света. (их толщина обычно не превышает нескольких десятков длин волн)

При падении света на тонкую прозрачную плёнку происходит отражение от обеих поверхностей плёнки. В результате возникают две световые волны, которые при определённых условиях могут интерферировать.

Оптическую разность хода двух волн при отражении от тонкой плоскопараллельной пластинки в отражённом свете можно определить по формуле

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda}{2} = 2dn \cos \beta + \frac{\lambda}{2},$$

где

Δ - оптическая разность хода волн, M

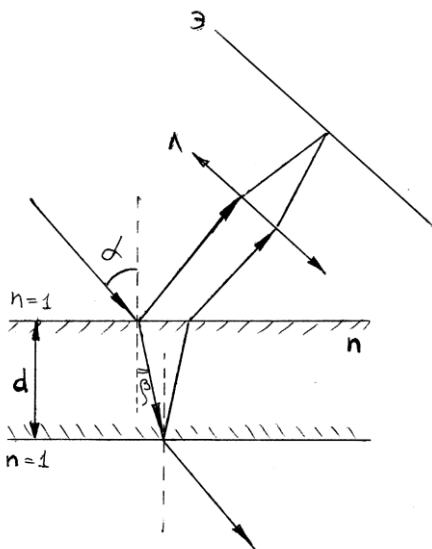
d - толщина плёнки, M

n - показатель преломления плёнки

α - угол падения света на плёнку

β - угол преломления света в плёнке

λ - длина световой волны, падающей на плёнку, M .



Кольца Ньютона

Кольцами Ньютона называется интерференционная картинка в виде чередующихся тёмных и светлых концентрических колец, которые возникают при отражении света от двух поверхностей, одна из которых плоская, а другая имеет относительно большой радиус кривизны и соприкасается с первой (например, стеклянная пластинка соприкасается с плосковыпуклой линзой).

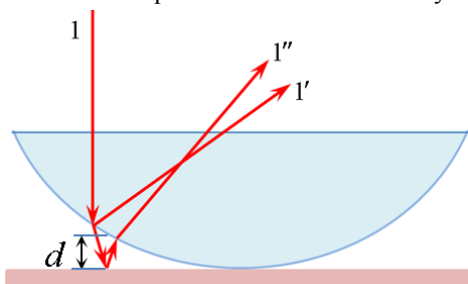


Рис.3. Оптическая схема колец Ньютона

Если на такую систему в направлении, перпендикулярном плоской поверхности линзы, падает пучок **монохроматического света**, то световые волны, отражённые от нижней границы линзы и верхней границы плоской поверхности пластинки, могут интерферировать между собой.

Впервые были описаны в 1675 году Исааком Ньютоном, поэтому названы в честь него. Однако объяснить природу возникновения этих колец он не смог. Впервые дать правильное объяснение этого явления смог английский учёный Томас Юнг в 1801 г.

Наблюдение формы колец Ньютона позволяет осуществлять быстрый и весьма точный контроль качества шлифовки плоских пластин и линз, а также близость поверхностей последних к сферической форме.

Кроме того, кольца Ньютона используются для экспериментального

определения радиусов кривизны R сферических поверхностей, измерения длин световых волн λ и показателей преломления вещества n .

Интерференция света возникает в результате возникновения оптической разности хода Δ между интерферирующими световыми лучами $1'$ и $1''$ в тонком зазоре (обычно воздушном), разделяющем соприкасающиеся поверхности. Этот воздушный зазор играет роль тонкой плёнки переменной толщины.

Оптическая разность хода Δ интерферирующих волн изменяется при переходе от одних точек на поверхности пластинки к другим в соответствии с изменением толщины d воздушного зазора, так что одинаковые условия интерференции возникают в точках, соответствующих одинаковым значениям d . Поэтому рассматриваемая интерференционная картина называется **полосами равной толщины**.

Полосами равной толщины называют интерференционную картину, возникающую в результате наложения световых лучей, падающих на пластину переменной толщины, от мест с одинаковой толщиной.

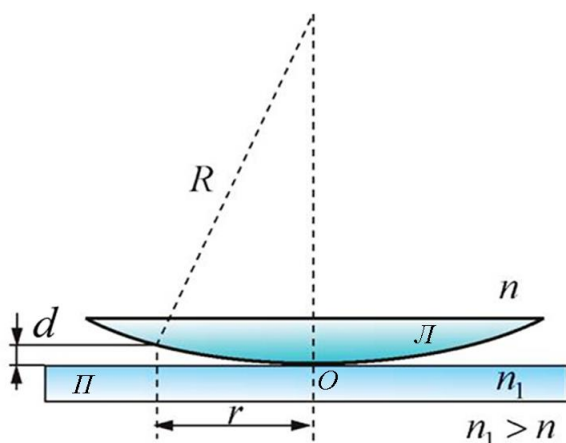


Рис. 4

Таким образом, частным случаем полос равной толщины являются кольца Ньютона, которые наблюдаются в схеме, изображенной на рис. 4. Плосковыпуклая линза Л с большим радиусом кривизны R выпуклой поверхностью обращена к плоской пластине П и соприкасается с ней в точке О. Параллельный пучок света падает нормально на плоскую поверхность линзы и частично отражается от верхней и нижней поверхностей воздушного промежутка между линзой и пластиной. При наложении отраженных волн возникают интерференционная картина в виде концентрических окружностей. В центре наблюдается темное пятно (минимум нулевого порядка). Оно окружено системой чередующихся светлых и темных колец, ширина и интенсивность которых постепенно убывают по мере удаления от центрального пятна. В проходящем свете наблюдается противоположная картина: центральное пятно - светлое, следующее кольцо - темное и т. д.