

Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций  
Российской Федерации

СибГУТИ

Кафедра физики

### Лабораторная работа №7.2

«ИЗМЕРЕНИЕ РАДИУСА КРИВИЗНЫ ЛИНЗЫ МЕТОДОМ  
ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ КОЛЕЦ НЬЮТОНА»

Выполнил: студент гр. ЗМ-221  
Колчева В.С.  
№ Зачетной книжки: 123220061  
Преподаватель:  
Черевко А.Г.

Измерения сняты

\_\_\_\_\_ дата

\_\_\_\_\_ подпись

Отчет принят \_\_\_\_\_

Защита:

\_\_\_\_\_ оценка

\_\_\_\_\_ дата

\_\_\_\_\_ подпись

Новосибирск 2023 г.

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Закрепить знания по основам теории интерференции. Освоить применение интерференционного метода для измерения радиуса кривизны плоско-выпуклой линзы.

## 2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Видимый свет представляет собой электромагнитную волну с частотой ( $\nu$ ) в диапазоне Гц и длиной волны ( $\lambda$ ) в вакууме: (380 - 780) нм;  $(0,38 - 0,78) \cdot 10^{-6}$  м. Такие электромагнитные волны называются световыми волнами

Цвет	Диапазон длин волн, нм
Фиолетовый	380-450
Синий	450-480
Голубой	480—500
Зелёный	500—560
Жёлтый	560—590
Оранжевый	590—620
Красный	620—760

Рисунок 1 - Диапазоны длин волн видимого света.  
Электромагнитное излучение с длиной волны,  $\lambda$  менее 380 нм относится к ультрафиолетовому излучению, а с  $\lambda > 760$  нм к инфракрасному излучению и человеческим глазом не фиксируется

В световой волне происходят колебания векторов напряженности электрического и магнитного полей. Эти вектора перпендикулярны друг другу, и оба они перпендикулярны направлению распространения света (Рис. 2).

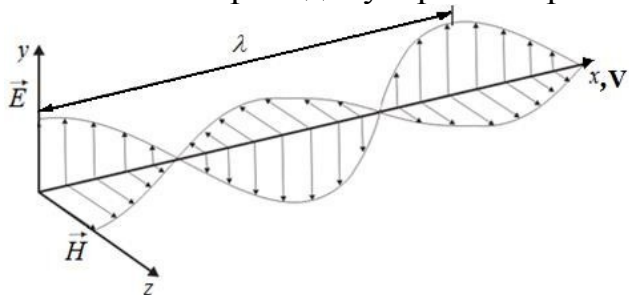


Рисунок 2 - Строение плоской электромагнитной волны.

Для плоской электромагнитной синусоидальной волны (Рис. 2) колебания векторов напряженности электрического и магнитного поля описывается функциями:

$$\begin{aligned} E_y &= E_m \cos(\omega t - kx + \phi_0) \\ H_z &= H_m \cos(\omega t - kx + \phi_0) \end{aligned} \quad (1)$$

где:  $E_m$  - амплитуда напряжённости электрического поля в волне;

$H_m$  - амплитуда напряжённости магнитного поля в волне;

$\omega$  - циклическая частота;  $\lambda$  - длина волны;  $\frac{2\pi}{\lambda}$  - волновое число;

$t$  – время, прошедшее от начала колебаний в источнике;

$x$  – координата, совпадающая с направлением распространения волны, расстояние от источника до данной точки;

$\varphi = \omega t - kx + \varphi_0$  - фаза колебаний, зависящая от момента времени и координаты рассматриваемой точки пространства;

$\varphi_0$  - начальная фаза колебаний в точке с координатой  $x = 0$ .

С диэлектриками и большинством других веществ взаимодействует электрическая составляющая световой волны. Поэтому в волновой оптике, как правило, рассматриваются колебания только напряженности электрического поля, ее называют световым вектором:

$$E = E_m \cos(\omega t - kx + \phi_0)$$

Явление интерференции света возникает при наложении двух или большего числа световых волн и заключается в том, что интенсивность результирующей волны не равняется сумме интенсивностей волн, которые накладываются. В одних точках пространства интенсивность оказывается большей, чем сумма, в других – меньшей, т.е. возникает устойчивая система максимумов и минимумов интенсивности, которая называется интерференционной картиной.

## 2.1 Два условия возникновения интерференции волн:

1- **Когерентность волн**, такое наложение двух волн, при котором в различных точках пространства колебания световых векторов волн происходит синхронно и возникают устойчивые во времени максимумы и минимумы интенсивности. Это означает – разность фаз двух волн постоянна во времени:

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \mathit{const} \text{ – условие когерентности базовое}$$

Следствие: учитывая, что фаза равна  $\varphi = (\omega t - kx + \varphi_0)$ , а  $k = 2\pi/\lambda$  получаем, что волны когерентны, если у них одинаковы частоты и разность начальных фаз постоянна:

$\omega_1 = \omega_2; (\varphi_{01} - \varphi_{02}) = \mathit{const}$  – условие когерентности удобное для анализа

2 - **Идентичная поляризация двух волн**, это означает, что колебания светового вектора происходят в одном направлении, или в близких направлениях.

## 2.2. Условия максимума и минимума интенсивности интерференционной картины

### 2.2.1 Оптическая длина пути, оптическая разность хода волн

В вакууме скорость света (**c**) всегда постоянна и равна  $c = 3 \cdot 10^8$ , м/с. В среде скорость света (**V**) меньше, чем в вакууме, Отношение этих скоростей называется показателем преломления среды

$$n = c/V, \quad (2)$$

Например, в стекле ( $n=1,5$ ) скорость света в полтора раза меньше, чем в вакууме. Таким образом, для преодоления одного и того-же расстояния свету в стекле понадобится в  $n$  раз больше времени, т.е. в 1,5 раза больше времени. Чем в вакууме. Чтобы упростить расчеты при анализе интерференционных и дифракционных явлений вводят понятие оптической длины пути:

**Оптическая длина пути** - это расстояние, которое прошел бы свет в вакууме за то время, которое он затратил на прохождение заданного пути в веществе. Оптическая длина пути в  $n$  раз больше расстояния, пройденного светом в веществе с показателем преломления  $n$ :

$$L_{\text{опт}} = nL \quad (3)$$

Например, свет в стекле с показателем преломления  $n=1,5$  прошел расстояние  $L$  Определить оптическую длину пути:  $L_{\text{опт}}=nL=1,5L$ .

**Оптическая разность хода ( $\Delta$ )** – это разность оптических путей двух интерферирующих лучей от точки их раздвоения до экрана или другого объекта, где создается интерференционная картина

$$\Delta = L_{\text{опт}2} - L_{\text{опт}1} \quad (4)$$

## 2.2.2 Условия максимума и минимума интенсивности интерференционной картины, записанное через оптическую разность хода лучей - ( $\Delta$ ).

Пусть происходит интерференция двух когерентных волн с одинаковыми амплитудами световых векторов  $E_{m1} = E_{m2} = E_m$ . Если электромагнитные волны приходят в точку наблюдения в фазе, то при их наложении световые вектора волн будут направлены в одну сторону и будут складываться и общая (результатирующая) амплитуда будет удвоена ( $E_{рез} = E_{m1} + E_{m2} = 2E_m$ ), а интенсивность результирующей волны будет в 4 раза больше интенсивности исходной волны, т.к. интенсивность пропорциональна квадрату амплитуды,  $I_{рез} = 4I \sim 4(E_m)^2$ . В этих точках будут наблюдаться максимумы, т.е. наиболее яркие линии интерференционной картины (максимумы на рисунке 3).

Если волны придут в точку наблюдения в противофазе, то световые вектора будут компенсировать друг друга, они будут направлены в разные стороны и результирующий вектор будет равен разности исходных световых векторов ( $E_{рез} = E_{m1} - E_{m2} = 0$ ). В точке наблюдения света не будет – минимуму интенсивности.

Учитывая это и переходя от разности фаз к разности оптических путей получаем условие максимума и минимума интенсивности интерференционной картины, записанное через оптическую разность хода лучей - ( $\Delta$ ).

$$\Delta = \pm m \cdot \lambda_0, \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \text{ – условие максимума} \quad (5)$$

$$\Delta = \pm (m + 1) \cdot \lambda_0, \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \text{ – условие минимума} \quad (6)$$

**Условие максимума (5):** при интерференции 2-х когерентных волн в точке наблюдения будет наблюдаться интерференционный максимум, если оптическая разность хода этих волн равна целому числу волн (волны приходят в точку наблюдения в фазе).

**Условие минимума (6):** при интерференции 2-х когерентных волн в точке наблюдения будет наблюдаться интерференционный минимум, если оптическая разность хода этих волн равна полуцелому числу волн (волны приходят в точку наблюдения в противофазе).

Идеальную интерференционную картину от двух световых волн представляет рисунок 3, который иллюстрирует условия максимума и минимума при интерференции. На нем по оси абсцисс отложена оптическая разность хода двух волн, по оси ординат интенсивность результирующей волны  $I$ . Как видно из рисунка, при оптической разности хода (ОРХ) равной нулю наблюдается максимум интенсивности при изменении ОРХ на величину равную длине волны снова возникает максимум, а при изменении ОРХ на пол длины волны попадаем в минимум

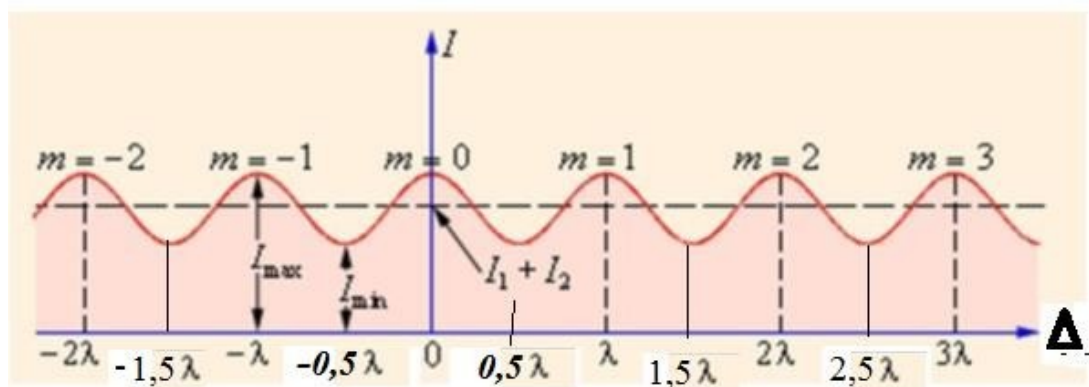


Рисунок 3 - Распределение интенсивности в интерференционной картине в зависимости от величины оптической разности хода. Целое число  $m$  – порядок интерференционного максимума

### Способы получения когерентных волн

В реальном эксперименте не существует независимых источников когерентных волн, поэтому при наложении света от двух независимых источников интерференции не происходит, интенсивность света во всех точках равна сумме интенсивностей, созданных каждым источником. Это объясняется тем, что свет от обычного источника состоит из цугов волн (кратковременных импульсов), которые независимо излучаются отдельными атомами. Время излучения одного атома имеет порядок величины  $10^{-8}$  с. В результате этого в световой волне происходят через краткие промежутки времени случайные изменения начальной фазы колебаний светового вектора, изменяется также случайным образом направление колебаний. Две когерентные световые волны для наблюдения интерференции получают, разделив каким-либо образом одну световую волну. Если две части одной световой волны снова наложить друг на друга, возникает интерференционная картина

Разделение одной волны на две когерентные волны можно проделать различными способами. В частности, разделение на две когерентные волны происходит и при падении света на плоско параллельную пластинку (пленку), отличающуюся по своим оптическим свойствам от окружающей среды. При отражении падающей световой волны от верхней и нижней поверхностей пластинки получаются две когерентные волны. Чтобы в обеих волнах присутствовали излучения одинаковых атомов, пластинка (пленка) должна быть тонкой. Поэтому явление интерференции в этом случае получило название интерференции света в тонких пленках. Если при освещении такой пластинки монохроматическим светом (светом, содержащим волны одной длины волны, например, красным светом с длиной волны  $600$  нм), то при выполнении условия максимума пластика в отраженном свете будет красной, а при условии минимума она будет не прозрачной, темной.

Если рассмотреть интерференцию на клине с очень малым углом наклона, то там также, как и в плоско - параллельной пластинке световые лучи отразятся от двух сторон клина, но при движении вдоль клина толщина клина будет меняться и будут поочередно меняться условия максимума и минимума, т.е.

наблюдатель увидит клин полосатым. Такие полосы называются полосами равного наклона, т.к. у клина угол постоянный. Разновидностью полос равного наклона являются кольца Ньютона, но если на клине полосы прямоугольные, то здесь мы имеем дело с кольцами исходя из геометрии задачи.

Кольца Ньютона наблюдаются при отражении света от соприкасающихся друг с другом плоскопараллельной стеклянной пластинки и плоско-выпуклой линзы с большим радиусом кривизны (рис. 4). Роль клина, от поверхности которого отражаются волны, играет зазор между пластинкой и линзой вблизи точки соприкосновения пластинки и линзы (вследствие большой толщины пластинки и линзы за счет отражений от других поверхностей интерференционные полосы не возникают). При нормальном падении света полосы равной толщины имеют вид окружностей, при наклонном – эллипсов.

Используя метод колец Ньютона, можно определить радиус кривизны поверхности линзы, обнаружить дефекты полировки ее поверхности (сколы и шероховатости), этот метод является одним из основных при изготовлении и контроле качества линз.

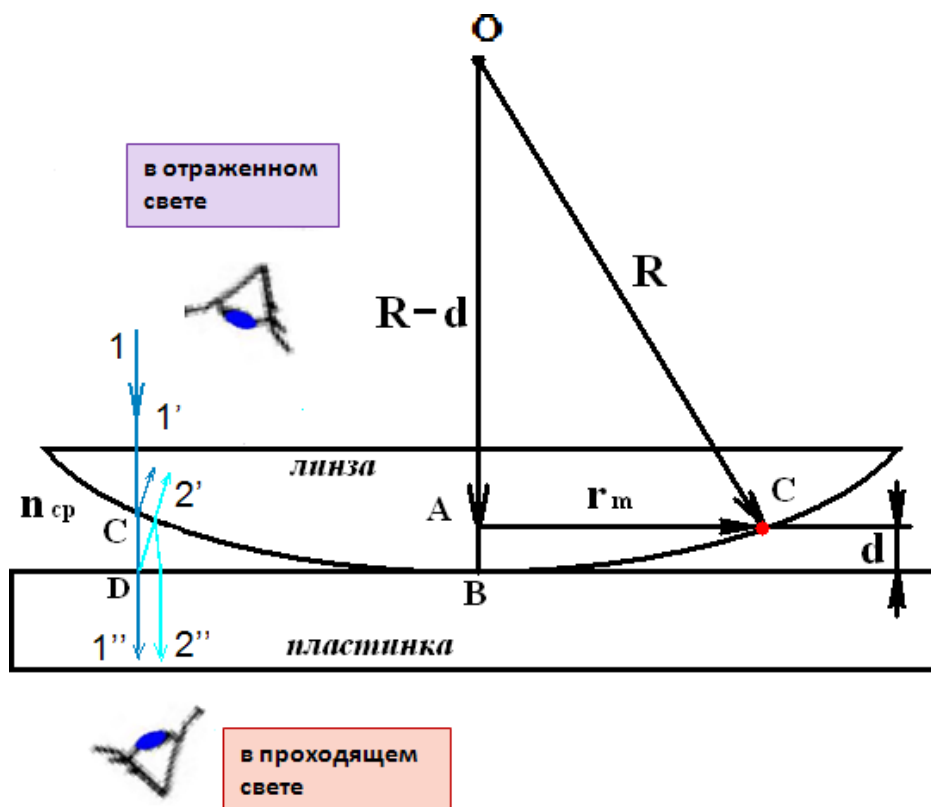


Рисунок 4 - Схема образования интерференционных колец Ньютона

Пусть электромагнитная волна «1» (рис. 4), излучаемая источником света, падает перпендикулярно плоской поверхности на плоско-выпуклую линзу, приведённую в контакт со стеклянной пластиной. В точке «С» происходит разделение волны «1» на две: отражённую от нижней поверхности линзы (волна «1'») и отражённую от верхней поверхности стеклянной пластинки (волна «1''»)

(волна «2'»). Эти волны будут интерферировать. Для наблюдения интерференционной картины, возникающей на границе раздела «воздушный клин – линза», в работе используется измерительный микроскоп «М». Интерференционная картина, наблюдаемая в микроскоп «М», имеет вид концентрических колец, симметричных относительно точки соприкосновения линзы и пластины. Исторически такая картина получила названия колец Ньютона, первая публикация о которых была им сделана в 1675 году.

Из рис. 4 следует, что оптическая разность хода между волнами «1'» и «2'» равна удвоенной толщине зазора:

$$\Delta = |CD| \cdot n + |DC| \cdot n - \frac{\lambda}{2} \quad (7)$$

где  $\lambda$  – длина интерферирующих волн, а  $n$  – показатель преломления среды, находящейся в зазоре между линзой и пластинкой. Прибавление  $\frac{\lambda}{2}$  к оптической длине пути волны «2'» связано с тем, что при её отражении от пластины «П» в точке «D» (отражение от оптически более плотной среды) фаза волны изменяется на  $\pi$ .

Из формулы (7) следует, что

$$\Delta = 2d \cdot n + \frac{\lambda}{2} \quad (8)$$

В случае, если в точке С выполняется условие максимума интенсивности (5), то формулу (8) можно переписать в виде:

$$2d \cdot n + \frac{\lambda}{2} = m\lambda \quad (9)$$

где  $m = 0, 1, 2, \dots$  - порядок максимума.

Взаимосвязь толщины воздушного клина  $d$  с радиусом кривизны линзы  $R$  найдём из треугольника  $AOC$ .  $OB = OC = R$  - радиусу кривизны линзы. Толщина зазора  $d = AB = OB - OA$ . Длина катета  $OA = R - d$ . По теореме Пифагора:

$$R^2 = (R - d)^2 + r^2 \quad (10)$$

где  $r_m$  – радиус концентрического кольца, соответствующего  $m$  порядку интерференционного максимума.

Раскроем скобки в выражении (10).

$$R^2 = R^2 - 2Rd + d^2 + r^2 \quad (11)$$

В условиях данного эксперимента радиус кривизны линзы  $R$  по порядку величины соответствует метрам, радиус колец Ньютона  $r_m$  примерно



соответствует миллиметрам, толщина зазора  $d$ , где наблюдаются кольца

Ньютона - микрометрам. Таким образом,  $r_m \gg d$  и  $d^2$  можно пренебречь по сравнению с  $r_m^2$ . Формула (11) упрощается:

$$d \approx \frac{r_m^2}{2R} \quad (12)$$

Из (9) и (12) следует, что для двух максимумов различных порядков  $m$  и  $\ell$  справедливы следующие выражения:

$$\frac{m}{r_m^2} \cdot n_{\pm} = m\lambda \quad \text{и} \quad \frac{\ell}{r_\ell^2} \cdot n_{\pm} = P\lambda \quad (13)$$

А радиус светлого кольца Ньютона порядка  $m$  в отраженном свете равен:

$$r = \sqrt{\frac{1}{(m-P)\lambda R}} \quad (14)$$

Вычитая почленно уравнения (13) и учитывая, что в данной лабораторной работе между линзой и пластинкой находится воздух ( $n \approx 1$ ), получаем формулу для расчёта радиуса кривизны линзы:

$$R = \frac{r^2 - r'^2}{\lambda(m-P)} \quad (15)$$

При нормальном падении света на плоскую поверхность линзы совокупность интерференционных максимумов одного порядка должна иметь форму кольца. Однако из-за того, что в нашей установке угол падения не равен нулю (наклонное падение), а также из-за неравномерного прижима линзы к пластине (рис.2), шероховатости поверхностей пластины и линзы, форма максимума несколько отличается от окружности (рис. 3).

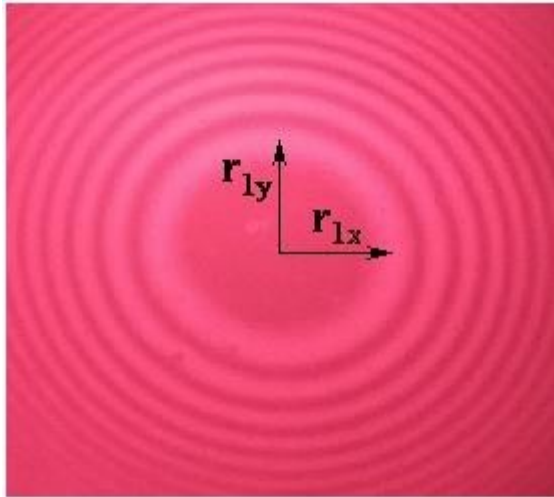


Рисунок 5 - Схема измерения среднего радиуса кольца произвольного порядка.

Радиусы колец, измеренные в разных направлениях, будут иметь разные значения. На рис. 5 отмечены радиусы первого светлого кольца во взаимно перпендикулярных направлениях. Величину радиуса кольца произвольного  $m$  - порядка мы определим, как среднее арифметическое радиусов, измеренных во взаимно перпендикулярных направлениях

$$r_m = \langle r \rangle = \frac{r_{mX} + r_{mY}}{2}. \quad (16)$$

Величины  $r_{mX}$  и  $r_{mY}$  находим с помощью измерительной шкалы, вставленной в окуляр микроскопа. Если цена деления шкалы равна  $C$ , а значениям  $r_{mX}$  и  $r_{mY}$  соответствуют  $N_{mX}$  и  $N_{mY}$  чисел делений шкалы, величину  $r_m$  можно вычислить по формуле (17), переписав её в виде:

$$r_m = \frac{C}{2} \cdot (N_{mX} + N_{mY}). \quad (17)$$

### 3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Установка состоит из измерительного микроскопа МБС – 10 (рис.6), кассеты с линзой и пластинкой «К», светофильтра «СФ», источника света «И». Для определения цены деления измерительной шкалы окуляра служит линейка, закреплённая на одном основании с кассетой «К».

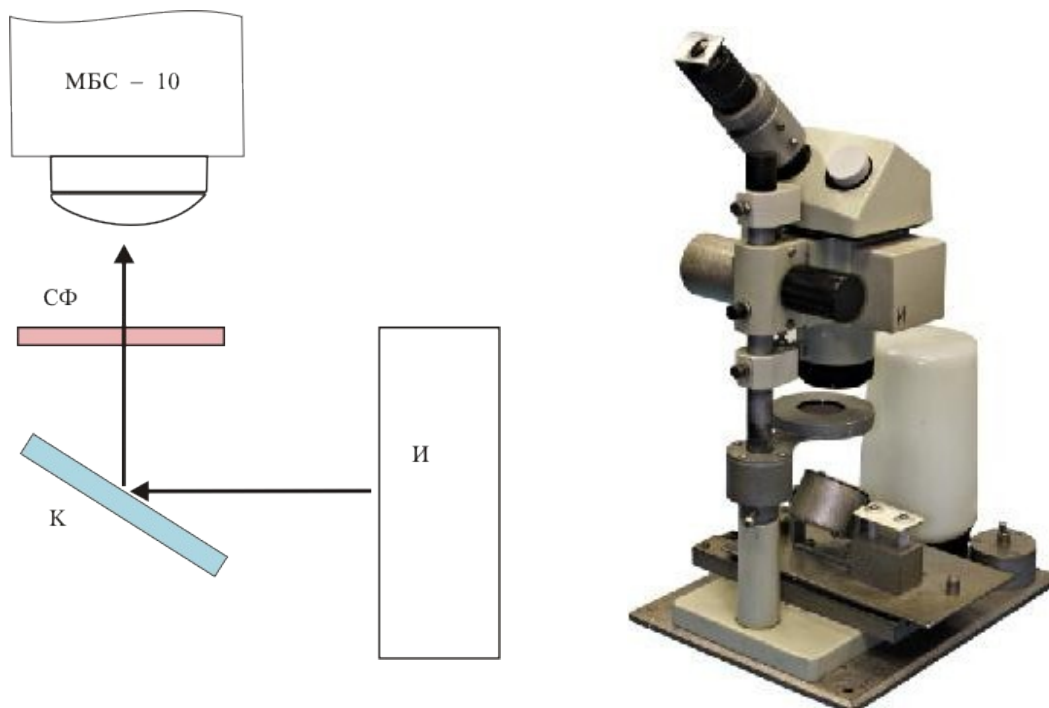


Рисунок 6 - Лабораторная установка

#### 4. ЗАДАНИЕ

Основные формулы для расчета:

№ формулы	Формула	Величины, входящие в формулы
19	$C = \frac{10^{-3}}{Z}$	$C$ – цена одного деления шкалы микроскопа, $Z$ – число интервалов измерительной шкалы микроскопа между серединами двух соседних миллиметровых меток линейки
18	$r_m = \frac{C}{2} \cdot (N_{mX} + N_{mY})$	$r_m$ – величина радиуса кольца $m$ - порядка $C$ – цена одного деления шкалы $N_{mX}$ – число делений шкалы микроскопа, соответствующих радиусу кольца порядка $m$ в горизонтальном направлении $N_{mY}$ – число делений шкалы микроскопа, соответствующих радиусу кольца порядка $m$ в вертикальном направлении
16	$R = \frac{r_m^2 - r_p^2}{\lambda(m - P)}$	$\lambda$ – длина волны используемого света, $m$ и $P$ – порядки (номера) светлых колец $r_m$ – величина радиуса кольца $m$ - порядка

4.1. Определение цены деления измерительной шкалы окуляра микроскопа.

**4.1.1.** Из поля зрения микроскопа выведен светофильтр, введена в поле зрения линейка с миллиметровыми делениями. Получено резкое изображение штрихов линейки на фоне измерительной шкалы микроскопа (рис.6).

**4.1.2.** Если между серединами двух соседних миллиметровых меток линейки укладывается  $Z$  интервалов измерительной шкалы, то цена деления измерительной шкалы определяется по формуле:

$$C = \frac{10^{-3}}{Z} \left[ \frac{m}{\text{дел}} \right], \quad (19)$$

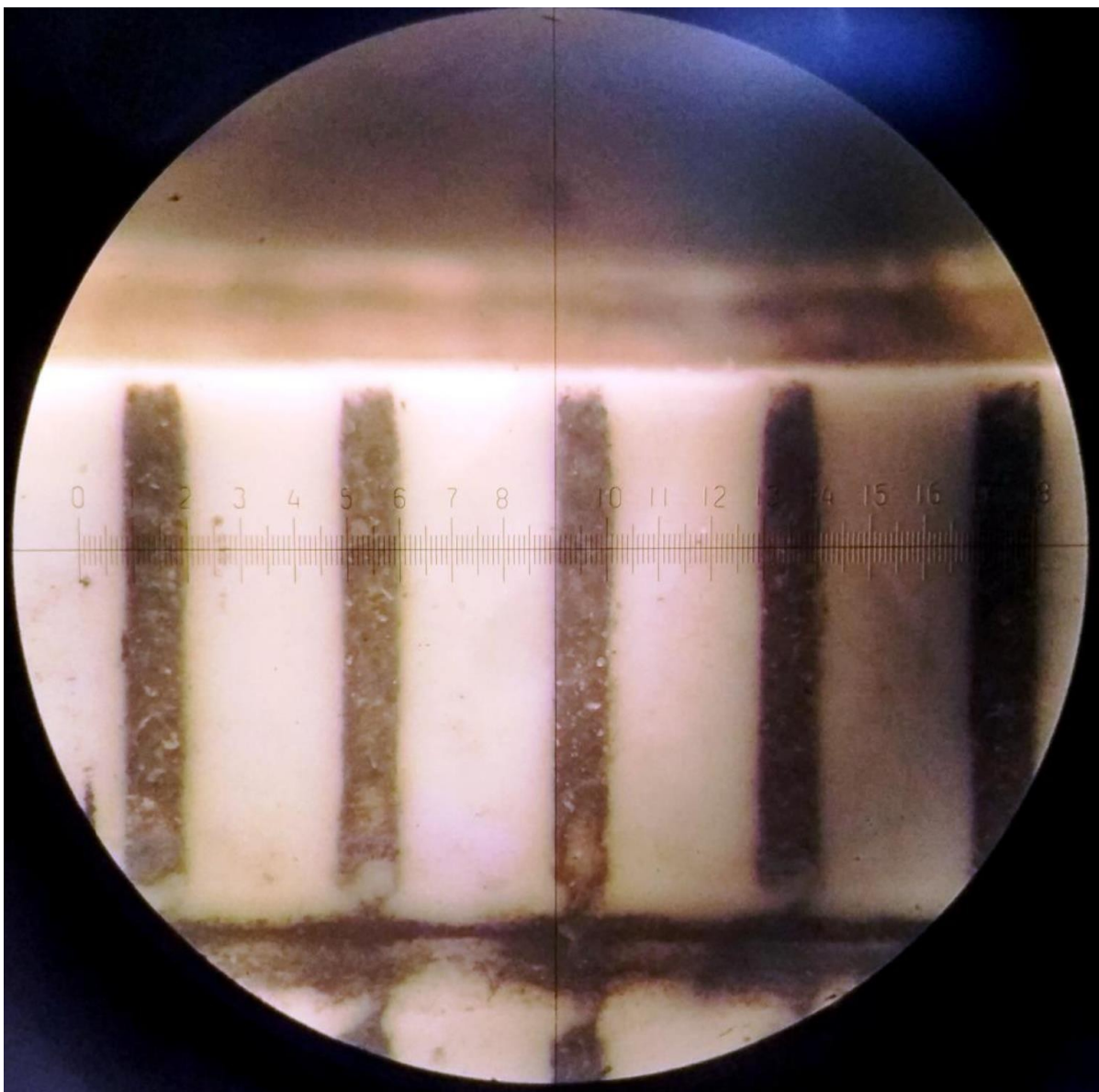


Рисунок 8 - Определение цены деления шкалы микроскопа

4.1.3. По рис.8 определяем  $Z$ .

$$Z=41 \text{ дел.}$$

4.1.4. По формуле (18) определяем цену деления шкалы микроскопа.

$$C = \frac{10^{-3}}{Z} = \frac{10^{-3}}{41} = 2,44 \cdot 10^{-5} \text{ ml дел}$$

## 4.2. Исследование интерференционного спектра.

4.2.1. Убираем из поля зрения линейку. Вводим в поле зрения кассету с линзой и пластиной и наблюдаем кольца Ньютона без светофильтра (Рис.9).



Рисунок 9 - Вид интерференционной картины без светофильтра

## 4.3. Определение радиуса кривизны линзы.

4.3.1. Определяем значения порядков светлых колец  $\ell=1$  и  $m=4$ , согласно номеру своего варианта (№ 1).

4.3.2. В поле зрения введен светофильтр («СФ» на рис.4). Длина волны, которую пропускает светофильтр,  $\lambda = 640$  нм. Интерференционная картина, наблюдаемая со светофильтром, показана на рис. 8 и 9. Красные (светлые) кольца – максимумы интенсивности, темные кольца – минимумы интенсивности

## 4.3.3. Подготавливаем таблицу измерений.

Таблица 2

Порядок кольца	$N_{mX}$	$N_{mY}$	Радиус кольца $r_{m,}$ м	Радиус кривизны линзы $R,$ м
$\ell=1$	33	27	0,0007	0,495 м
$m=4$	55	45	0,0012	

4.3.3. Определяем количество делений, соответствующих радиусу кольца заданного порядка  $\ell$  по горизонтали  $N_{mX}$  и по вертикали  $N_{mY}$ . (рис.10 и рис.11). Результаты заносим в таблицу 2.

4.3.4. Повторяем операцию п. 4.3.3 для  $m$ -того светлого кольца, записать значения  $N_{mX}$  и  $N_{mY}$  для этого максимума.

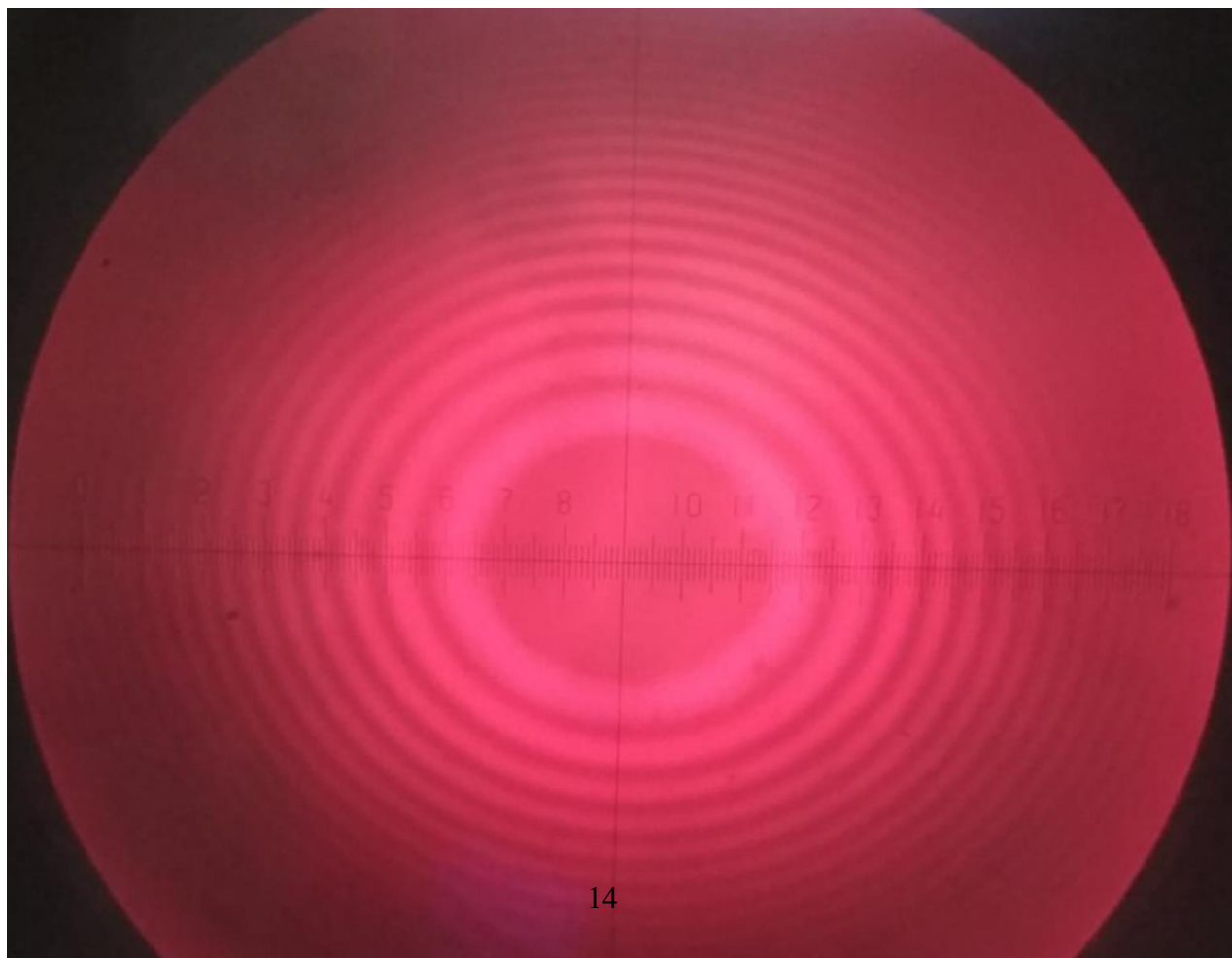


Рисунок 10 - Горизонтальное расположение шкалы микроскопа



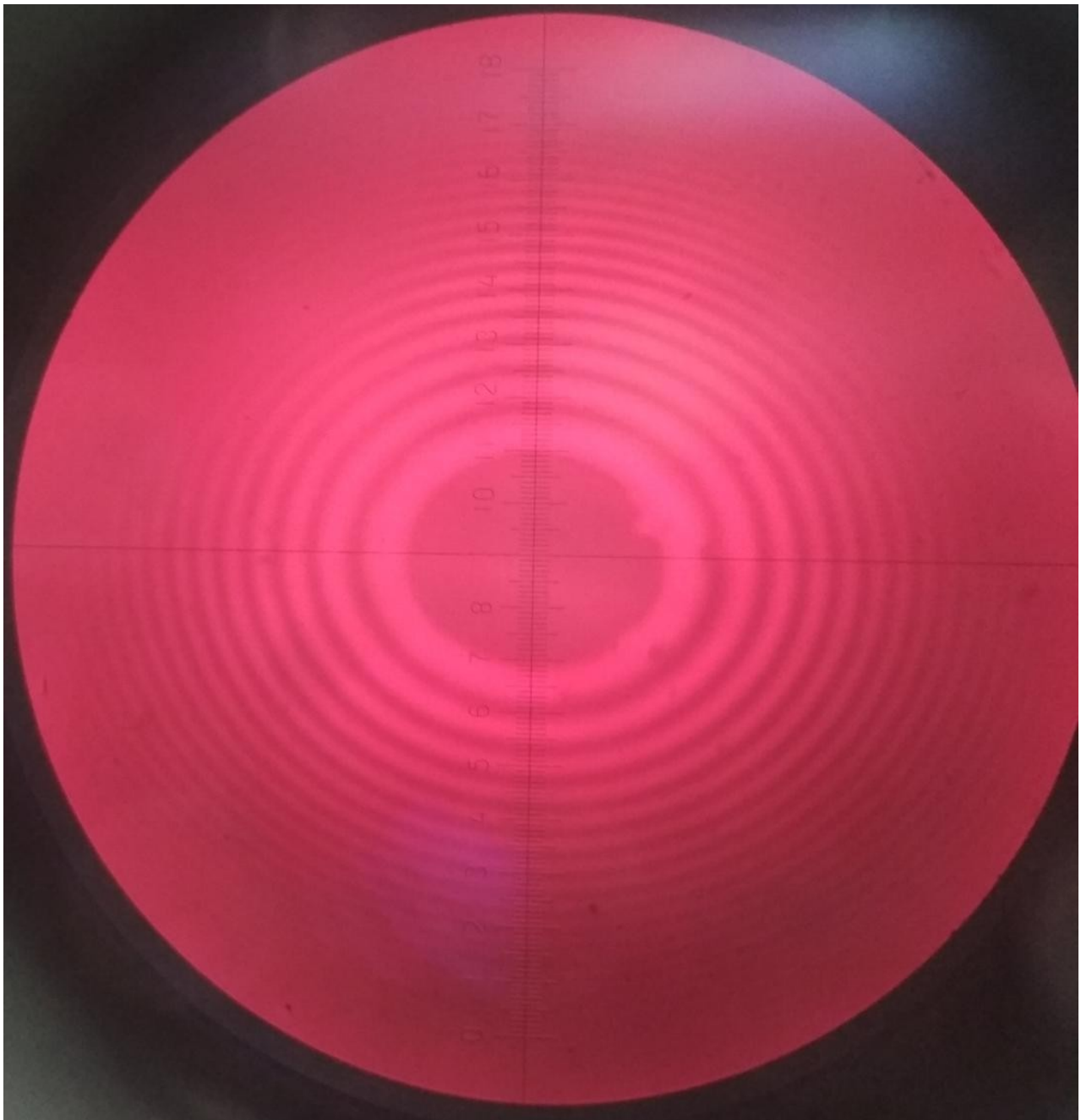


Рисунок 11 - Вертикальное расположение шкалы микроскопа

4.3.5. Вычисляем радиусы максимумов первого и четвертого порядков по формуле (18).

$$r_1 = \frac{C}{2} * (Nmx + Nmy) = \frac{2,44 * 10^{-5}}{2} * (33 + 27) = 0,0007 \text{ м}$$

$$r_m = \frac{C}{2} * (Nmx + Nmy) = \frac{2,44 * 10^{-5}}{2} * (55 + 45) = 0,0012 \text{ м}$$

4.3.6. Вычисляем радиус кривизны линзы  $R_{\text{рас.}}$  по формуле (16). Значение длины электромагнитной волны  $\lambda = 640$  нм:

$$R = \frac{r^2 m - r^2 l}{\lambda(m-l)} = \frac{0,0012^2 - 0,0007^2}{640 * 10^{-9} * (4-1)} = 0,495 \text{ м}$$

4.4. Рассчитываем относительную погрешность радиуса кривизны линзы по формулам:

$$\sigma = \frac{\sigma R}{R} = \sqrt{4 \left( \frac{\sigma r m}{r m} \right)^2 + 4 \left( \frac{\sigma r l}{r l} \right)^2 + \left( \frac{\sigma \lambda}{\lambda} \right)^2} = \sqrt{4 * 0,0009 + 4 * 0,0024 + \left( \frac{3 * 10^{-8}}{640 * 10^{-9}} \right)^2} = 0,124$$

$$\text{где: } \frac{\sigma r l}{r l} = \frac{\sigma r m}{r m} = \sqrt{\left( \frac{\sigma C}{C} \right)^2 + \left( \frac{\sigma N m x}{N m x} \right)^2 + \left( \frac{\sigma N m y}{N m y} \right)^2} = \sqrt{\left( \frac{2,44 * 10^{-6}}{2,44 * 10^{-5}} \right)^2 + \left( \frac{1}{55} \right)^2 + \left( \frac{1}{45} \right)^2} = \sqrt{0,0009}$$

$$\frac{\sigma r l}{r l} = \sqrt{\left( \frac{\sigma C}{C} \right)^2 + \left( \frac{\sigma N l x}{N l x} \right)^2 + \left( \frac{\sigma N l y}{N l y} \right)^2} = \sqrt{\left( \frac{2,44 * 10^{-6}}{2,44 * 10^{-5}} \right)^2 + \left( \frac{1}{33} \right)^2 + \left( \frac{1}{27} \right)^2} = \sqrt{0,0024}$$

При расчётах принимаем:  $\delta \lambda = 3 \cdot 10^{-8}$  м  $\delta C = 0,1$  С,  $\delta \frac{N_{mX}}{N_{mY}} = \delta = 1$ .

4.5. Рассчитываем абсолютную погрешность радиуса кривизны линзы по формуле:

$$\Delta R = R_{\text{рас.}} \cdot \sigma$$

$$\Delta R = 0,495 \cdot 0,124 = 0,061 \text{ м}$$

4.6. Запишем конечный результат для радиуса кривизны линзы в виде:

$$R = R_{\text{рас.}} \pm \Delta R .$$

$$R = 0,495 \pm 0,061 \text{ м}$$

4.7. Делаем основные выводы по выполненной работе:

- закрепили знания по основам теории интерференции;
- освоили применение интерференционного метода для измерения радиуса кривизны плоско-выпуклой линзы;
- познакомились с явлением колец Ньютона.

## 5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1 Дайте понятие волнового процесса, расскажите о структуре электромагнитной волны.

Ответ: Волновым процессом называется любое изменение (возмущение) состояния сплошной среды, распространяющееся с конечной скоростью и несущее энергию. Электромагнитная волна имеет сложную пространственную структуру. Электромагнитная волна представляет собой совокупность двух составляющих (электрическую и магнитную), которые совершают колебания в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

2 Дайте определение интерференции. Какие волны называются когерентными?

Ответ: Интерференция волн — взаимное увеличение или уменьшение результирующей амплитуды двух или нескольких когерентных волн при их наложении друг на друга. Сопровождается чередованием максимумов (пучностей) и минимумов (узлов) интенсивности в пространстве. Результат интерференции (интерференционная картина) зависит от разности фаз накладываемых волн. Когерентные волны – волны, имеющие одинаковые частоты, постоянную разность фаз, а колебания происходят в одной плоскости.

3 Объясните условия максимума и минимума интенсивности интерференционной картины. Дайте определение оптической разности хода двух лучей. Запишите формулы для условий максимума и минимума.

Ответ: Если оптическая разность хода  $D$  равна целому числу длин волн  $l_0$ , т.е. то колебания, возбуждаемые в точке  $M$  обеими волнами, будут происходить в одинаковой фазе, и в точке  $M$  будет наблюдаться **интерференционный максимум** ( $m$  – порядок интерференционного максимума).

Если же оптическая разность хода  $D$  равна полуцелому числу длин волн  $l_0$ , т.е. то колебания, возбуждаемые в точке  $M$  обеими волнами, будут происходить в противофазе, и в точке  $M$  будет наблюдаться **интерференционный минимум** ( $m$  – порядок интерференционного минимума).

Оптическая разность хода ( $\Delta$ ) – это разность оптических путей двух интерферирующих лучей от точки их раздвоения до экрана или другого объекта, где создается интерференционная картина.

$$\Delta = \pm m \cdot \lambda_0, \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \text{ – условие максимума}$$

$$\Delta = \pm (m + 1) \cdot \lambda_0 \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \text{ – условие минимума}$$

4 Почему в данной установке существует интерференция, ведь лампа накаливания испускает некогерентные электромагнитные волны?

Ответ: Нить лампы накала, как точечный источник излучает сферический фронт волны, возникает неравномерность подсветки по краям, от этого интерференция,

пластина отфильтровывает, преобразуя сферический в плоский фронт, для согласования с объективом микроскопа.

5 Пользуясь формулой (14), объясните последовательность чередования цветов в спектре произвольного порядка, полученного в п. 4.2.2.

Ответ: Более короткие волны отклоняются сильнее, поэтому видно чередование интерференционных максимумов от центра к краю. Так линия красного цвета располагаться дальше от центра дифракционной картины по сравнению с линией фиолетового цвета в максимуме любого порядка . Дифракционный спектр симметричен относительно центрального максимума. Значение длины волн по максимумам первого и второго порядка одного и того же цвета практически равны.

Цвет	Диапазон длин волн, нм
Фиолетовый	380—450
Синий	450—480
Голубой	480—500
Зелёный	500—560
Жёлтый	560—590
Оранжевый	590—620
Красный	620—760

Решение задачи:

Вариант № 14.

Основываясь на рисунке 12 найти длину волны света, падающего на пленку, если показатель преломления пленки равен 1,5; толщина пленки 100 мкм, пленка в отраженном свете окрашена. Все должно быть подробно объяснено и выведено.

Дано:  $n = 1,5$   
 $d = 100 \text{ мкм}$   
 $\lambda = ?$

Решение:

Рис. 12 - Интерференция в тонкой плёнке: Нормальное падение естественного света.

Оптический путь ищем от точки раздвоения лучей (А):

$$L_{\text{опт1}} = n_1 \cdot AC - \lambda/2$$

$$L_{\text{опт2}} = n_2 d + n_2 d + n_1 \cdot AC$$

$$\Delta L_{\text{опт}} = \Delta L_{\text{опт2}} - L_{\text{опт1}} = n_2 d + n_2 d + n_1 \cdot AC - (n_1 \cdot AC - \lambda/2) = n_2 d + \lambda/2$$

Интерференция в тонких плёнках — явление, которое возникает в результате разделения луча света при отражении от верхней и нижней границ тонкой плёнки. В результате возникают две световые волны, которые могут интерферировать.

Луч света длиной волны  $\lambda$ , распространяющийся в воздушной среде с показателем преломления  $n_1$ , при падении на поверхность плёнки с показателем преломления  $n_2 > n_1$  разделится на два луча. Часть отражается на верхней поверхности, а часть входит в вещество пленки. Вошедший луч достигает нижней границы, затем отражается от неё и выходит в воздушную среду когерентным с первым лучом. В силу условия когерентности двух лучей, наблюдается интерференционная картина, которая определяется оптической разностью хода между интерферирующими лучами:

$$\Delta = 2dn + \frac{\lambda}{2}$$

Слагаемое  $\frac{\lambda}{2}$  учитывает изменение фазы волны при отражении от более оптически плотной среды, то есть от среды с большим показателем преломления. Множитель  $n$  учитывает уменьшение скорости света в среде.

Два луча дадут максимум, если  $\Delta = \pm m\lambda$  и минимум, если  $\Delta = \pm (2m+1)\frac{\lambda}{2}$ .

Если пленка черная, значит, имеет место, минимум, записываем нужные условия:

$$\Delta = 2dn + \frac{\lambda}{2} = (2m+1)\frac{\lambda}{2}$$

$$2dn + \frac{\lambda}{2} = m\lambda + \frac{\lambda}{2}$$

$$2dn = m\lambda$$

Находим показатель длины волны света  $\lambda$ :

$$\lambda = 2d * n$$

Длина волны — расстояние между двумя ближайшими друг к другу точками в пространстве, в которых колебания происходят в одинаковой фазе

$$\lambda = 100 * 2 * 1.5 = 300 \text{ нм}$$

Ответ:  $\lambda = 300 \text{ нм}$