

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

Кафедра физики

ОПТИКА

Методические указания
к лабораторным работам № 3 – 11, 3 – 12, 3 – 21

Санкт-Петербург
2017

ОПТИКА: методические указания к лабораторным работам № 3—11, 3—12, 3—21 /сост.: С. А. Поржецкий, В. М. Максимов, А. В. Федоров: под общ. ред. доц. Е.А. Яшкевич; ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2017. – 37 с.

Методические указания содержат описание трёх лабораторных работ по оптике. Предназначены для бакалавров всех направлений.

Рецензент: канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры физики ВШТЭ СПбГУПТД А. А. Абрамович.

Подготовлены и рекомендованы к печати кафедрой физики ВШТЭ СПбГУПТД (протокол №2 от 10.10.2017 г.).

Утверждены к изданию методической комиссией института энергетики и автоматизации ВШТЭ СПбГУПТД (протокол № 1 от 20.11.2017 г.).

Редактор и корректор В.А. Басова
Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2017 г., поз.88

Подп. к печати 24.10.17. Формат 60×84/16. Бумага тип № 1.
Печать офсетная. Объем 2,5 печ. л., 2,5 уч.-изд. л.
Тираж 100 экз. Изд. № 88 Цена «С». Заказ №

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД,
198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.

Предисловие

При подготовке к лабораторной работе следует сначала внимательно прочитать теоретическое введение в данную тему, а затем саму работу. В протоколе следует отразить содержание работы, кратко изложить суть изучаемых явлений, определения и основные свойства изучаемых физических величин, привести формулировки используемых законов. В протоколе должна быть приведена оптическая схема установки (с ходом лучей) и краткое пояснение к ней.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Результаты всех измерений заносятся в таблицы, которые даны в описании лабораторных работ.

Вычисление результатов и погрешностей прямых измерений

После того как результаты измерений занесены в таблицу, приступают к расчётам, которые производят в следующем порядке:

а) Вычисляется результат многократного измерения, за который принимается среднее арифметическое результатов отдельных измерений:

$$\overline{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i ;$$

б) Вычисляются погрешности отдельных измерений $\Delta X_i = X_i - \overline{X}$

в) Вычисляются $(\Delta X_i)^2$ и затем квадрат средней квадратичной погрешности $\overline{X}$, равный

$$S_x^2 = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (\Delta X_i)^2 ;$$

г) Вычисляется стандартная случайная ошибка: $S_x = \sqrt{S_x^2}$.

В нашей лаборатории всегда указывается стандартная случайная ошибка измерения, которой соответствует доверительная вероятность – 68 %;

д) Вычисляется $\Delta X_{\text{сист}}$ систематическая ошибка X .

В большинстве случаев стандартная систематическая ошибка может быть принята равной цене наименьшего деления используемого прибора;

е) Вычисляется полная погрешность:

$$\Delta \bar{X} = \sqrt{S_x^2 + \Delta X_{\text{сист}}^2}.$$

Все результаты расчётов заносятся в таблицу для записи многократных измерений;

ж) Заполняется таблица однократных измерений, куда также записываются все необходимые для дальнейших расчётов табличные величины, значения эталонов и другие необходимые неизмеряемые величины с их погрешностями.

Для однократных измерений полная погрешность равна систематической погрешности измерения.

Запись абсолютной погрешности должна содержать одну значащую цифру.

Вычисление погрешностей косвенных измерений

Пусть величина X является функцией результата прямых измерений

$$\bar{X} = f(\bar{U}, \bar{V}, \bar{W}).$$

А. Вычисление абсолютной погрешности.

Вычисление абсолютной погрешности производится в следующем порядке:

а) Вычисляют вклады в абсолютную погрешность ΔX , которые дают величины U, V, W , их находят как частные дифференциалы функции X по U, V, W :

$$\Delta_u \bar{X} = \frac{\partial X}{\partial U} \Delta \bar{U}, \quad \Delta_v \bar{X} = \frac{\partial X}{\partial V} \Delta \bar{V}, \quad \Delta_w \bar{X} = \frac{\partial X}{\partial W} \Delta \bar{W},$$

$\Delta\bar{U}, \Delta\bar{V}, \Delta\bar{W}$ - погрешности прямых измерений;

б) Вычисляют общую абсолютную погрешность косвенного измерения:

$$\Delta\bar{X} = \sqrt{(\Delta_U \bar{X})^2 + (\Delta_V \bar{X})^2 + (\Delta_W \bar{X})^2};$$

в) Вычисляют относительную погрешность результата:

$$\delta\bar{X} = \frac{\Delta\bar{X}}{\bar{X}}.$$

Б. Вычисление относительной погрешности.

Вычисление относительной погрешности производится в следующем порядке:

а) логарифмируют функцию: $X = f(U, V, W)$, упрощая полученное выражение по правилам логарифмирования;

б) находят частные вклады прямых измерений в относительную погрешность как частные дифференциалы от $\ln X$ по U, V, W :

$$\delta_u \bar{X} = \frac{\partial \ln X}{\partial U} \Delta\bar{U}, \quad \delta_v \bar{X} = \frac{\partial \ln X}{\partial V} \Delta\bar{V}, \quad \delta_w \bar{X} = \frac{\partial \ln X}{\partial W} \Delta\bar{W}.$$

в) Вычисляют общую относительную погрешность косвенного измерения:

$$\delta\bar{X} = \sqrt{(\delta_u \bar{X})^2 + (\delta_v \bar{X})^2 + (\delta_w \bar{X})^2}.$$

г) Вычисляют абсолютную погрешность результата $\Delta\bar{X} = \bar{X} \cdot \delta\bar{X}$. Если выражение $X = f(U, V, W)$ представляет собой многочлен, рационально для вычисления погрешности воспользоваться методом, описанным в пункте «А». Если выражение представляет собой одночлен, имеет смысл воспользоваться методом, описанным в пункте «Б».

Расчёты погрешностей достаточно производить с точностью до 10 %. Так, если вклад одной из погрешностей на порядок меньше других, его можно не учитывать.

Округление и запись окончательного результата и погрешности

Первой всегда округляется *погрешность*. Она округляется до *первой значащей цифры*. Затем округляется результат до того разряда, в котором находится единственная значащая цифра погрешности.

Окончательный результат записывается в виде:

$$a = \text{результат} \pm \text{погрешность}$$

Пример: измерены величины: $m = 0,02387$ кг и $\lambda = 635,7$ нм.

Их погрешности $\Delta m = 0,00067$ кг и $\Delta \lambda = 15,6$ нм.

Округляем погрешности: $\Delta m = 0,0007$ кг и $\Delta \lambda = 20$ нм.

Округляем и записываем результаты измерений:

$$m = (0,2387 \pm 0,0007) \text{ кг}$$

$$\lambda = (640 \pm 20) \text{ нм.}$$

ТЕМА 3-1. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

Видимый свет представляет собой электромагнитные волны, длина волны λ которых лежит в области значений от 0,38 до 0,76 мкм. В зависимости от длины волны человеческий глаз воспринимает свет разного цвета. Во многих случаях, когда размеры отверстий или препятствий значительно больше длины волны света, распространение его можно рассматривать с позиций *геометрической оптики*. Лучи, указывающие направление распространения энергии световых волн, можно представить как узкие световые пучки, ширина которых достаточно мала по сравнению с рассматриваемыми телами, но значительно больше величины λ .

Основу геометрической оптики образуют следующие законы.

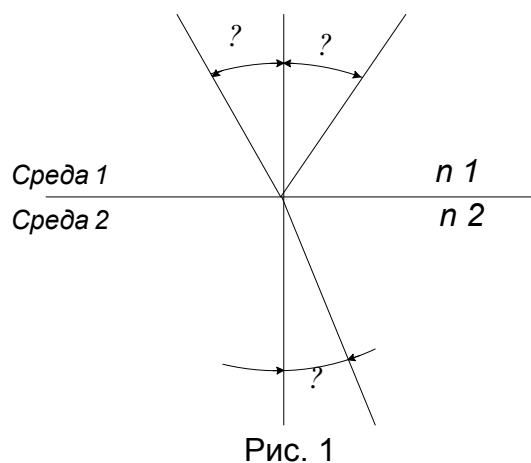
Закон прямолинейного распространения света. В однородной среде свет распространяется по прямым линиям.

Закон независимости световых лучей. Лучи при пересечении не возмущают друг друга.

Закон обратимости световых лучей. Если изменить направление луча в любой точке на противоположное, то он пойдёт по той же самой траектории в противоположном направлении.

На границе двух прозрачных сред происходит частичное отражение и преломление света.

Закон отражения света. Луч падающий, отражённый и нормаль в точке падения лежат в одной плоскости. Угол падения равен углу отражения (рис.1).



Закон преломления света. Луч падающий, преломлённый и нормаль в точке падения лежат в одной плоскости.

Отношение синуса угла падения α к синусу угла преломления β постоянно и равно отношению показателя преломления второй среды относительно первой (рис.1):

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21} \quad (1)$$

Преломление света связано с изменением скорости распространения электромагнитных волн при переходе из одной среды в другую: $n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$. Показатель преломления среды

относительно вакуума $n = \frac{c}{v}$ называется *абсолютным показателем преломления среды*. Он показывает, во сколько раз скорость света c в вакууме больше скорости света в данной среде. Тогда относительный показатель преломления двух сред:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (2)$$

При переходе луча света из среды оптически менее плотной в оптически более плотную ($n_1 < n_2$, рис.1) преломленный луч существует при любых углах падения.

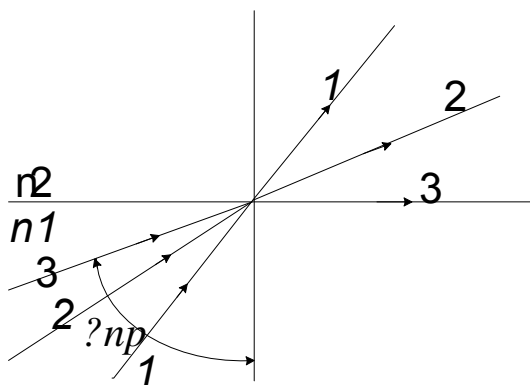


Рис . 2

В случае перехода света из оптически более плотной среды в оптически менее плотную ($n_1 > n_2$, рис.2), начиная с некоторого угла, называемого предельным, вся световая энергия отражается от границы раздела, то есть отсутствует преломленный луч. Это явление носит название *полного внутреннего отражения света*. Из (1) и (2) следует, учитывая, что $\beta_{\text{пр}} = 90^\circ$, $\sin \alpha_{\text{пр}} = \frac{n_2}{n_1}$.

Это следствие того, что для $\alpha_{\text{пр}}$ синус угла преломления равен 1, для $\alpha > \alpha_{\text{пр}}$, из закона преломления следует, что $\sin \beta > 1$, но это невозможно. Значит, закон преломления для этих углов выполняться не может.

Абсолютный показатель преломления среды n зависит от природы и физического состояния среды, то есть от температуры вещества, его плотности, наличия в нём упругих напряжений. Величина n зависит

также и от характеристики самого света. Для красного света он меньше, чем для зелёного, а для зелёного меньше, чем для фиолетового. Зависимость показателя преломления от длины волны носит название явления *дисперсии света*.

Прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями, называют линзой. Прямую линию O_1O_2 , проходящую через центры сферических поверхностей, называют главной оптической осью (рис. 3). Линзы, у которых середина толще края, являются собирающими (рис. 4). Наоборот, линзы, толщина которых в середине меньше, являются рассеивающими. (Это справедливо в воздухе или в другой среде, показатель преломления которой меньше чем у вещества линзы).

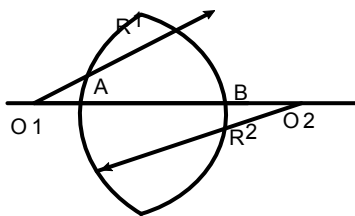


Рис. 3

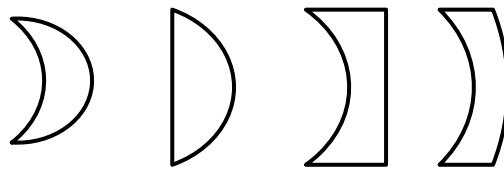


Рис. 4

Линзу называют *тонкой*, когда толщина её АВ пренебрежимо мала по сравнению с радиусами R_1 и R_2 кривизны поверхностей и расстоянием от предмета до линзы (рис.3). Для тонкой линзы точки А и В можно принять за одну точку, которую называют *оптическим центром* линзы и обозначают буквой О. Главная оптическая ось тонкой линзы проходит через оптический центр.

Линза создаёт изображение источников света, то есть свет, исходящий из какой-либо точки предмета – источника, после преломления в линзе снова собирается в одну точку – *изображение*. Если по выходе из линзы лучи сходятся, они образуют *действительное изображение*. Если же прошедшие через линзу лучи являются расходящимися, то пересекаются в одной точке не сами лучи, а их продолжения. Изображение тогда является *мнимым*. Точка F , в которой пересекаются после преломления падающие на линзу параллельно главной оптической оси лучи или их продолжения, называется *главным фокусом линзы*. Расстояние F от центра линзы до главного фокуса называется *фокусным расстоянием* линзы (рис. 5а). Главных фокусов у линзы два, так как лучи, параллельные оси OO^1 , направленные с противоположной стороны линзы, также соберутся в одной точке. Для тонкой линзы в однородной среде фокусы

располагаются по обе стороны линзы на одном и том же расстоянии от центра.

Для величины фокусного расстояния F справедливо:

$$\frac{1}{F} = (n_{21} - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (3)$$

где n_{21} – относительный показатель преломления материала линзы относительно окружающей среды. Для выпуклой поверхности линзы $R > 0$, для вогнутой – $R < 0$. Для плоской поверхности $R = \infty$. Для линзы в воздухе (3) примет вид:

$$\frac{1}{F} = (n - 1) \frac{1}{R}. \quad (4)$$

В случае рассеивающей линзы (рис. 5б) падающие на неё параллельно главной оптической оси лучи после преломления линзой будут расходящимися, и их продолжения пересекаются в главном фокусе F рассеивающей линзы. Он является мнимым и расположен на расстоянии F от линзы, при этом фокусное расстояние принимается отрицательным.

Величину Φ , обратную фокусному расстоянию F , называют *оптической силой линзы*: $\Phi = \frac{1}{F}$. Оптическая сила рассеивающей линзы отрицательна. Чем ближе к линзе лежат её фокусы, тем сильнее линза преломляет лучи и тем больше по абсолютному значению оптическая сила линзы. Величину Φ выражают в *диоптриях* (дптр). Оптической силой $\Phi = 1$ дптр обладает линза с фокусным расстоянием $F = 1$ м.

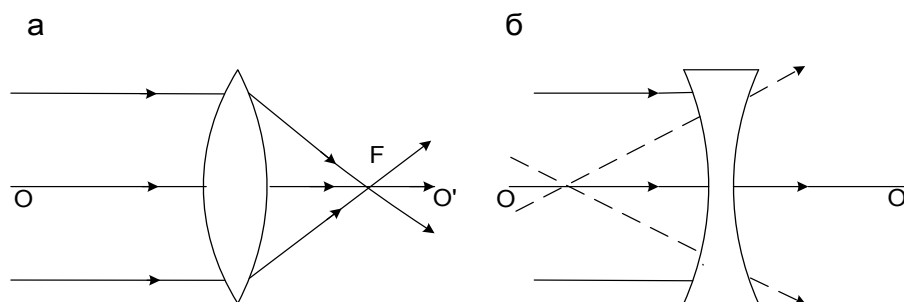


Рис. 5

Для построения изображений пользуются тремя видами «удобных» лучей. Луч 1, параллельный главной оптической оси, преломившись в линзе (рис. 6), проходит через её фокус. Из

обратимости хода лучей следует, что луч 2, идущий к линзе через её фокус, после преломления пойдёт параллельно главной оптической оси. Луч 3, проходящий через оптический центр линзы, не меняет своего направления.

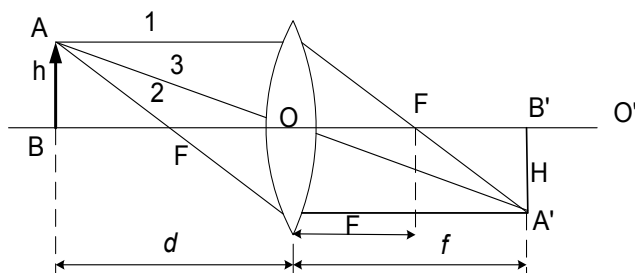


Рис. 6

Расстояние d от предмета АВ до линзы, f – от изображения А'В' до линзы и фокусное расстояние F связаны равенством

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f},$$

называемым формулой

линзы. Линейным увеличением линзы называют отношение линейного размера H изображения к линейному размеру h предмета: $G = H / h$. Из рис. 6 видно, что

$$H / h = f / d.$$

Линза собирает в фокусе только лучи, близкие к оптической оси (*параксиальные лучи*). Удалённые от оси лучи преломляются линзой сильнее, чем нужно для их попадания в фокус и пересекают оптическую ось ближе фокуса (рис.7а). Подобное характерно и для рассеивающих линз: в мнимом фокусе собираются лишь продолжения параксиальных лучей (рис.7б). Эта погрешность оптических систем, называемая *сферической абберацией* и проявляющаяся для широких пучков, не позволяет получить четкое изображение предметов. Для компенсации сферической абберации объективы составляют из нескольких собирающих и рассеивающих линз.

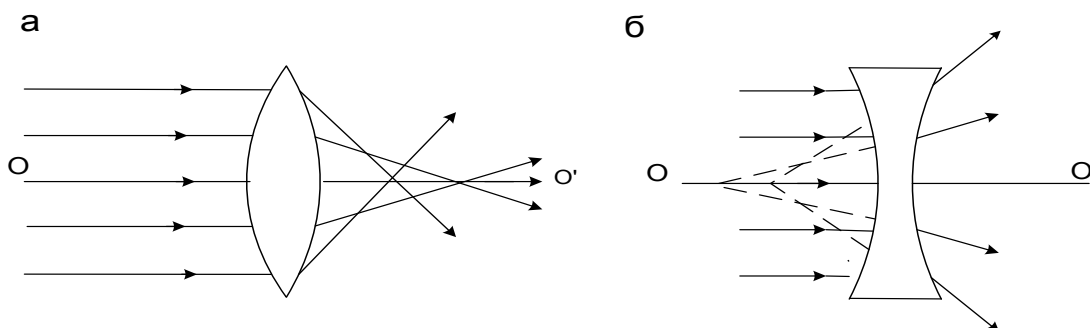


Рис. 7

Искажение изображения, вызванное дисперсией показателя преломления n , называется *хроматической абберацией*. Из-за этого

фокусное расстояние F линзы, зависящее от n , различно для лучей разного цвета, составляющих белый свет (рис. 8). Для устранения хроматической aberrации используют сложные объективы, являющиеся комбинацией собирающих линз из стёкол с малой дисперсией и рассеивающих линз из стёкол с большой дисперсией.

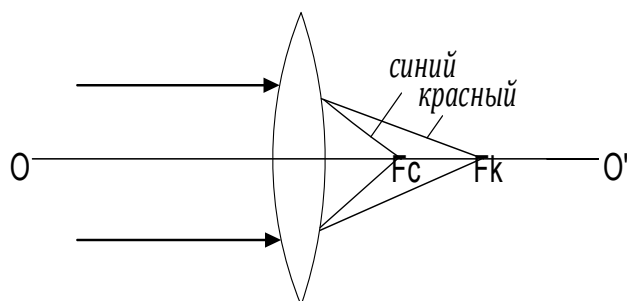


Рис. 8

Линза, как элемент оптического прибора, является примером использования прозрачной среды с постоянным и одинаковым для всех точек показателем преломления n . Отклонение луча от данного направления и формирование изображения

достигается за счёт преломления на поверхностях линзы.

В современном оптическом приборостроении используются элементы с регулярным распределением показателя преломления. Если в цилиндре создать радиальное распределение показателя преломления, близкое к параболическому,

$$n(r) \cong n_0 (1 - 0,5\alpha^2 r^2) , \quad (5)$$

то лучи в таком элементе распространяются по траекториям близким к синусоидальным и на выходе дают изображение.

Здесь n_0 и $n(r)$ - показатели преломления на оси цилиндра и на расстоянии r от неё соответственно, α – параметр распределения.

Такие элементы называются граданами. В зависимости от длины градана он может иметь как положительную, так и отрицательную оптическую силу. Первые фокусирующие градиентные элементы (граданы) в России были получены методом диффузионного ионного обмена в системе “стекло – расплавленная соль” на кафедре физики ЛТИ ЦБП (ныне ВШТЭ СПбГТУРП).

Лучи света, падающие параллельно оси градана, распространяются в нём по траекториям (рис. 9) $r = A \cos \frac{2\pi}{L} Z$ с амплитудой A и длиной периода

$$L = \frac{2\pi}{\alpha} . \quad (6)$$

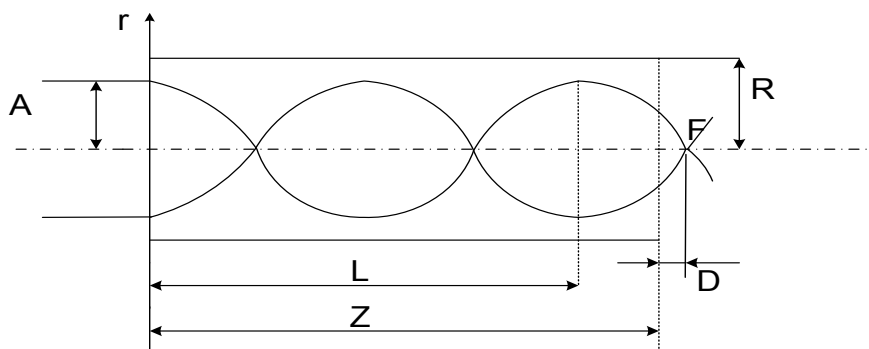


Рис. 9

Если на вход градана с фокусирующим распределением направить пучок параллельных лучей, то после прохождения через градан он может стать: сходящимся, если $Z < \frac{L}{4}$ (рис. 10а); расходящимся, если $\frac{L}{4} < Z < \frac{L}{2}$ (рис. 10б). В случае $Z = \frac{L}{2}$ пучок останется параллельным (рис. 10в). Если длину градана увеличить на целое число $\frac{L}{2}$, то его оптическая сила не изменится.

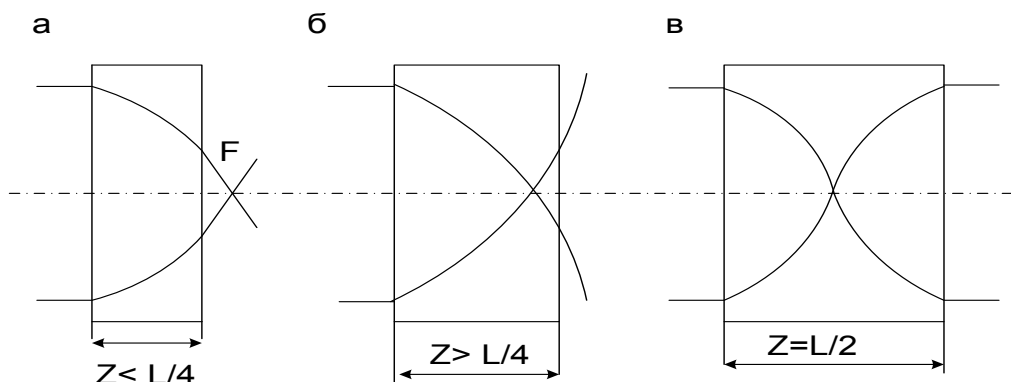


Рис. 10

Рабочий отрезок D , то есть расстояние от фокуса до выходного торца градана, определяется так:

$$D = \frac{1}{n_0 \alpha \cdot \operatorname{tg}(\alpha z)} \cdot \quad (7)$$

Таким образом, изменяя длину Z одного и того же градана, можно получить как собирающую, так и рассеивающую линзы. Постоянную

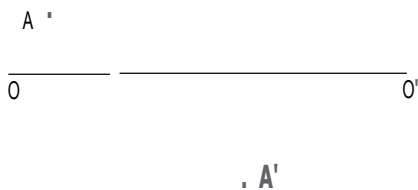
а можно найти по значению полного перепада показателя преломления $\Delta n = n_0 - n_1$, где n_1 – значение n на поверхности графана. Для этого запишем (5), применительно к варианту $r=R$:

$$n_1 = n_0 \cdot (1 - 0,5\alpha^2 R^2) ; \quad \alpha^2 = (n_0 - n_1) / n_0 R^2 \cdot 0,5 ;$$

$$\alpha = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{2\Delta n}{n_0}} . \quad (8)$$

Вопросы и задачи по теме 3 – 1

1. В каком случае угол преломления луча равен углу падения?
2. Найти значение скорости света в воде и в стекле, если известны $n_{\text{воды}}=1,33$ и $n_{\text{стекла}}=1,5$.
3. Из двух стёкол с показателем преломления 1,5 и 1,7 сделаны две одинаковые, двояковогнутые линзы. Найти отношение их фокусных расстояний. Какое действие каждая из этих линз произведёт на луч, параллельный оптической оси, если погружать линзы в прозрачную жидкость с показателем преломления 1,6?
4. Найти угол преломления луча, падающего из вакуума на среду, в которой скорость света $2,5 \times 10^8$ м/с. Угол падения 60° .
5. Какова оптическая сила выпукло-вогнутой линзы из стекла с показателем преломления $n=1,6$, если радиус кривизны выпуклой поверхности $R=200$ мм, а вогнутой -100 мм?
6. На каком расстоянии друг от друга нужно поместить две одинаковые собирающие линзы с оптической силой в 2 дптр, чтобы параллельный луч, падающий на эту систему, на выходе из неё оставался параллельным?
7. Как изменится изображение предмета линзой, если половину линзы перекрыть непрозрачным экраном?
8. На рисунке показаны: OO^1 – главная оптическая ось тонкой линзы, А – светящаяся точка, A^1 – её изображение. Найти построением положение центра линзы и ее фокуса.
9. Построить изображение предмета, даваемого тонкой линзой в случае, когда предмет находится между фокусом и линзой.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3-11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЗЫ И ГРАДАНА

Цель работы: Определить фокусное расстояние и показатель преломления вещества линзы. Измерить и рассчитать рабочий отрезок градана.

Для определения показателя преломления плоско-выпуклой линзы нужно измерить ее фокусное расстояние и радиус кривизны поверхности линзы. Фокусное расстояние линзы можно измерить с помощью зрительной трубы, установленной на «бесконечность», то есть так, чтобы в неё были чётко видны удалённые предметы. Лучи, идущие от таких предметов, можно принять за параллельные. Не меняя фокусировку трубы 1, настроенную на «бесконечность», её располагают на оптической скамье так, чтобы иметь возможность наблюдать даваемое линзой 2 или граданом изображение лампы 3 (рис.11). Очевидно, что с помощью трубы можно будет отчётливо видеть изображение спирали лампы только в том случае, если лучи, идущие от каждой точки спирали, после преломления линзой, станут параллельными. Так будет только если спираль лампы поместить в фокус линзы или градана. Таким образом, если, передвигая линзу или градан, добиться отчётливого изображения нити лампы, то это будет означать, что нить находится в главном фокусе линзы или градана соответственно. Измерив расстояние от линзы или градана до нити лампочки, получим величину фокусного расстояния линзы или рабочего отрезка градана соответственно.

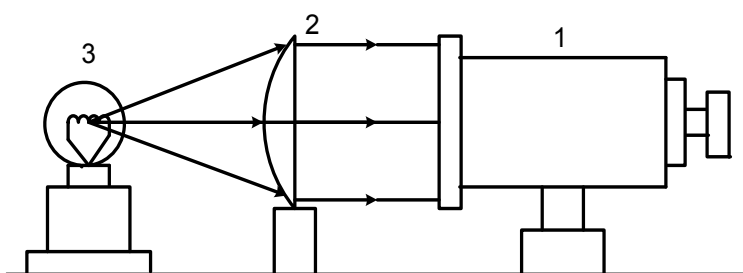


Рис. 11

Зная фокусное расстояние линзы F и радиус кривизны R , можно найти показатель преломления n :

$$n = 1 + \frac{R}{F} \quad (9)$$

(см.(4), тема 3.1.).

Описание установки. Экспериментальная установка (рис. 1) представляет собой расположенные на оптической скамье зрительную трубу (1), линзу (2) или графан и лампу (3).

Определение радиуса кривизны линзы

Для определения радиуса R кривизны линзы используется сферометр. В основе его устройства лежат следующие геометрические положения: плоско-выпуклая линза, используемая в работе, представляет собой шаровой сегмент, следовательно, поверхность линзы является частью сферы радиуса R (рис. 12). Пусть ENL будет сечение произвольно выбранного сегмента линзы в вертикальной плоскости. На основании теоремы о равенстве произведений отрезков хорды и отрезков перпендикулярного к ней диаметра можно записать:

$$r^2 = (2R - h)h, \quad (10)$$

где h – высота шарового сегмента, r – радиус круга, являющегося основанием сегмента. Из (10) для R имеем:

$$R = \frac{r^2 + h^2}{2h}. \quad (11)$$

Сферометр состоит из металлического треножника, на котором укреплен микрометр. Аккуратно вращая барабан микрометра за трещотку, снимают показания сначала на плоской поверхности, а затем на сферической поверхности. Разность этих двух отсчётов даёт высоту h шарового сегмента, основанием которого служит круг радиуса r , проходящий через ножки сферометра Е,К,М.

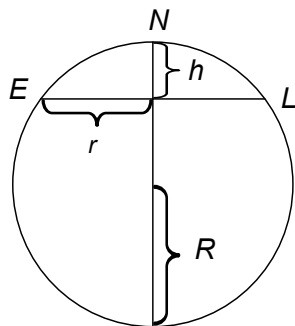


Рис. 12

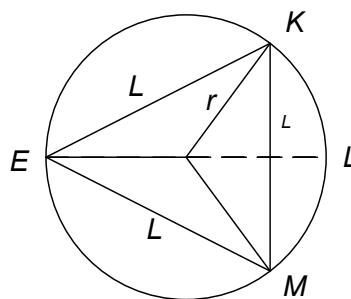


Рис. 13

На рис.13 приведено сечение линзы в горизонтальной плоскости ЕКМ, представляющее собой вышеупомянутый круг. Радиус r может быть определён как радиус окружности, описанный вокруг правильного треугольника ЕКМ. Если обозначить сторону этого треугольника через l , то $r = l/\sqrt{3}$. Выражая в формуле (11) r через l , получим окончательно для определения R :

$$R = \frac{l^2 + 3h^2}{6h} = \frac{l^2}{6h} + \frac{h}{2} \quad (12)$$

Порядок выполнения работы

1. Для определения величины R по формуле (12) необходимо знать величины h и l . Для определения h сферометр помещают на плоскую стеклянную пластину и снимают отсчёт m_1 . Затем снимают отсчёт m_2 , расположив сферометр на сферической поверхности линзы. Разность отсчётов сферометра на плоскости и сферической поверхности даёт высоту h измеряемого шарового сегмента: $h = m_2 - m_1$. Измерение h проводят однократно, и результаты заносят в табл. 1.

Для измерения l ставят сферометр на чистый лист бумаги и надавливают на него. На листе отпечатываются концы ножек сферометра.

Линейкой измеряют расстояние между точками и берут среднее значение.

Таблица 1

m_1 мм	m_2 мм	h мм	Δh мм	l мм	Δl мм

2. Установить зрительную трубу на «бесконечность». Для этого выйти в коридор, привести трубу на предметы в дальнем конце коридора и, вращая ручку фокусировки, добиться максимально четкого их изображения. После этого ручку фокусировки вращать нельзя.

3. Для определения фокусного расстояния F линзы, необходимо, передвигая линзу добиться отчётливого изображения накали́нной нити лампы в зрительной трубе. Расстояние от линзы до нити лампы, равное F , отсчитывается по шкале на оптической скамье по переднему краю подставки держателя линзы. Такое измерение следует проделать пять раз. Результаты измерений F заносят в табл. 2.

Таблица 2

№ п/п	F_i , мм	ΔF_i , мм	$(\Delta F_i)^2$	Погрешности и результат
1 2 . . 5				$S_F =$ $\Delta F_{\text{сист}} =$ $\Delta F =$
Среднее значение		$S_F^2 = \dots$		$F \pm \Delta F = \dots$

4. По формуле (12) рассчитывается радиус кривизны линзы R . Затем выводится формула относительной погрешности δR и рассчитываются погрешности. При выводе формулы δR вторым слагаемым $h/2$ в формуле (12) можно пренебречь, так как погрешность h много меньше, чем вклад первого члена. Результат записывают в виде доверительного интервала $R \pm \Delta R$.

5. По формуле (9) рассчитывается абсолютный показатель преломления веществом линзы. Определяют погрешность измерения n . Формула относительной погрешности δn имеет довольно громоздкий вид. Поэтому сначала удобно определить $\delta(n-1)$ – относительную погрешность $(n-1)$. Тогда, учитывая, что $\Delta(n-1) = \Delta n$, легко вычислить Δn .

6. Вместо линзы на оптическую скамью устанавливается обойма с граданом и 5 раз измеряется рабочий отрезок D градана. Результаты заносятся в табл. 3.

Таблица 3

№ п/п	D_i , мм	ΔD_i , мм	$(\Delta D_i)^2$	Погрешности и результат
1 . . . 5				$S_D = \dots$ $\Delta D_{\text{сист}} =$ $\Delta D =$
Среднее значение		$S_D^2 = \dots$		$D \pm \Delta D =$

7. Записать в табл. 4 приведённые на макете параметры градана: n_0 - показатель преломления на оси градана и Δn – перепад показателя преломления от оси к поверхности градана, R , Z – радиус и длина градана соответственно. По формулам (8) и (7) (тема 3-1) вычислить параметр распределения α градана и рабочий отрезок D , занести результаты вычисления вместе с измеренной величиной D в табл. 4.

Таблица 4

n_0	Δn	R мм	Z мм	α мм ⁻¹	$D_{\text{выч}}$ мм	$D_{\text{изм}}$ мм

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3-12

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРЕНИЯ ИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

Цель работы: Изучить зависимость показателя преломления водных растворов KCl и NaCl от концентрации и измерить неизвестную концентрацию растворов.

Абсолютный показатель преломления растворов зависит от природы растворителя, природы и концентрации растворённого вещества. При малых концентрациях зависимость n от концентрации является линейной. Показатель преломления зависит также от температуры. Так, показатель преломления воды для жёлтой линии Na - $\lambda = 589_{\text{нм}}$, при 15°C равен 1,3334, при 20°C – 1,3330 и при 25°C – 1,3325. Так как показатель преломления любого вещества зависит от длины волны света – явление дисперсии, то при точных измерениях нужно указывать на какой длине волны измеряется показатель преломления. Например, для синего цвета с длиной волны 434 нм показатель преломления воды равен 1,3406.

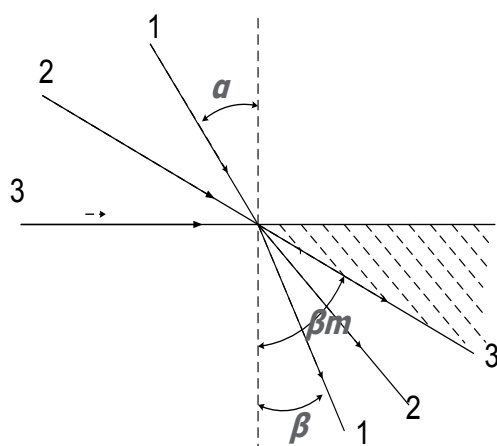


Рис. 14

полного внутреннего отражения. Если на границу двух сред с показателем преломления $n_1 > n_2$ падает свет под углом от 0 до 90° , то во второй среде свет будет распространяться только под углом к нормали, не превышающим β_m (см. рис. 14). В заштрихованную область свет из первой среды попасть не может. Если наблюдать из

Существует несколько видов приборов, предназначенных для измерения показателей преломления жидких и твёрдых сред, такие приборы называются *рефрактометрами*.

В данной работе используется рефрактометр Аббе, в котором показатель преломления жидкости измеряется по предельному углу

второй среды, то видна чёткая граница между светом и тенью. Рис. 14 отличается только направлением лучей от рис. 2 (тема 3.1.).

Максимальный угол преломления соответствует предельному углу полного внутреннего отражения $\alpha_{\text{пр}}$ при обратном ходе лучей и определяется следующим образом:

$$\sin \beta_m = \frac{n_2}{n_1}.$$

В рефрактометре Аббе в качестве второй среды используется стекло с известным большим показателем преломления, а первой средой является исследуемая жидкость.

Описание рефрактометра

На рис. 15 приведён внешний вид рефрактометра, а на рис. 16 - его принципиальная оптическая схема. Рефрактометр состоит из корпуса, навинченного на штатив с массивным основанием. Основной частью рефрактометра являются две стеклянные призмы, вмонтированные в два полуцилиндрических кожуха. Нижний неподвижно закреплён на корпусе, а верхний может откидываться на шарнире. Обе призмы изготовлены из флинта с показателем преломления около 1,7. При наложении откидного кожуха на верхний между основаниями призмы остаётся зазор около 0,15 мм, в который помещается исследуемая жидкость. В каждом кожухе имеются короткие широкие щели, через которые свет, отражённый от подвижного зеркала, может быть направлен на призму. Нижняя грань AC верхней (откидной) призмы сделана матовой. Лучи света, рассеиваясь этой матовой поверхностью, проходят через жидкость и падают на верхнее основание DE нижней призмы под углом от 0° до 90° . Так как показатель преломления стекла призмы больше, чем показатель преломления жидкости, то при наблюдении через призму DEF видна граница “свет – тень”, которую можно видеть через окуляр. Положение, наблюдаемое в окуляр границы “свет – тень” определяется конфигурацией призмы DEF и показателем преломления стекла призмы и жидкости. Таким образом, для конкретной конструкции рефрактометра наблюдаемое положение границы “свет – тень” зависит только от показателя преломления жидкости. Окуляр закреплён на рычаге, поворачивая который можно охватить всё поле зрения и найти границу “свет – тень”. В поле

зрения окуляра имеется также шкала показателей преломления жидкости. Для измерения показателя преломления нужно совместить пунктирную визирную линию окуляра с границей “свет – тень”. Положение визирной линии при этом указывает на шкале значение показателя преломления. Из-за явления дисперсии на границе “свет – тень” наблюдаются окрашенные полосы, которые можно убрать с помощью специального компенсатора, сделанного из стекла с большой дисперсией.

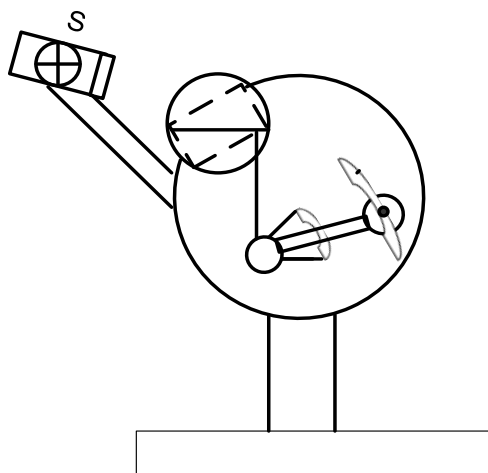


Рис. 15

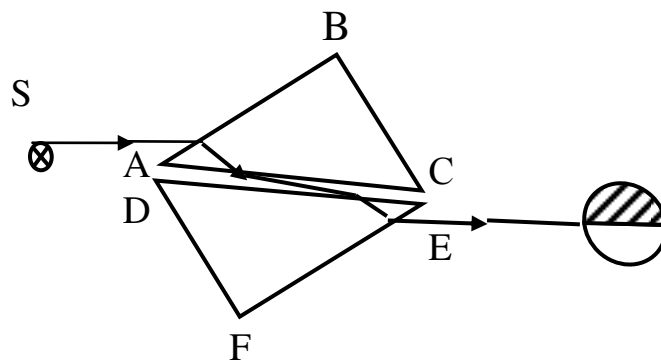


Рис.16

Порядок выполнения работы

1. Осторожно откидывают верхнюю призму. Наносят пипеткой на каждую призму 2-3 капли дистиллированной воды. Затем фильтровальной бумагой высушивают обе призмы (не тереть). Промывают призму повторно.

2. Измеряют показатель преломления воды. Для этого наносят на нижнюю призму 2-3 капли воды и вплотную к ней присоединяют откидную призму.

3. С помощью зеркальца направляют пучок света на призму через верхнюю щель (нижняя щель закрыта).

4. Фокусируют окуляр и, вращая зеркальце, добиваются яркого освещения поля зрения. Передвигают рычаг с окуляром до появления в поле зрения границы “свет – тень”.

5. Вращая рычажок компенсатора K , устраняют цветные полосы на границе “свет – тень”.

6. Совмещают штриховую визирную линию окуляра с границей “свет – тень” и по визирной линии отсчитывают по левой шкале показатель преломления жидкости. Для воды значение n должно получиться около 1,333.

7. Измеряют показатели преломления растворов хлористого натрия и калия известной концентрации. Для этого с каждым раствором повторяют операции, описанные в пп. 2-6. Полученные результаты заносят в таблицу.

После каждого раствора промывают призмы водой (см.п.1).

8. Измеряют показатели преломления растворов неизвестной концентрации. Все данные заносят в таблицу.

9. Строят графики зависимостей (две кривые на одном графике) показателей преломления растворов NaCl и KCl от концентрации. 0% соответствует H_2O .

10. Неизвестные показатели концентрации растворов определяют по графикам.

Концентрация	n	
	NaCl	KCl
0 %		
5 %		
10 %		
.....		
.....		
25 %		
X %		

ТЕМА 3-2. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ

Волна – это распространение колебаний в пространстве. Плоская волна описывается уравнением:

$$x = A \cos(\omega t - 2\pi \frac{l}{\lambda}),$$

где l – расстояние от источника колебаний, λ – длина волны.

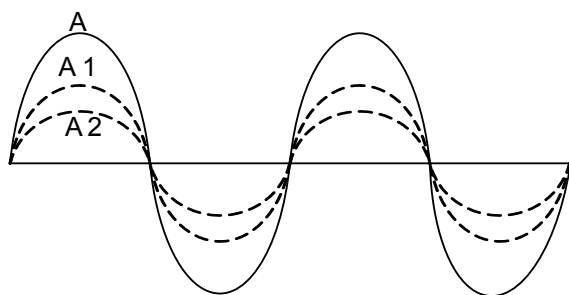
$$\phi = -2\pi \frac{l}{\lambda} \quad (13)$$

- начальная фаза колебаний в данной точке, она зависит от расстояния l , пройденного волной.

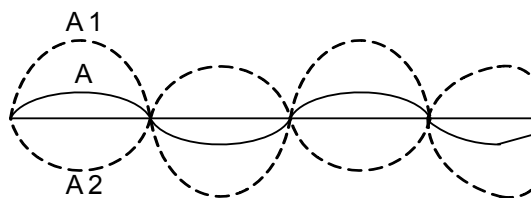
Если в данную точку приходят две волны с амплитудами A_1 и A_2 и начальными фазами колебаний φ_1 и φ_2 , то, по принципу суперпозиции, в точке будет происходить суммарное колебание. В зависимости от разности фаз приходящих волн они могут усиливать или ослаблять друг друга.

Интерференция – это явление усиления или гашения волн при их наложении в зависимости от разности фаз.

Волны усиливают друг друга, если они приходят в одинаковой фазе, $\varphi_1 = \varphi_2$ (рис. 17 а), и гасят друг друга, если они приходят в противофазе, $\varphi_2 - \varphi_1 = \pi$ (рис. 17 б).



а) $A = A_1 + A_2$



б) $A = A_1 - A_2$

Рис. 17

В общем случае амплитуда суммарного колебания может быть найдена из формулы:

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1), \quad (14)$$

где A_1, A_2 – амплитуды слагаемых колебаний, $\varphi_2 - \varphi_1$ – разность фаз этих колебаний.

При наложении волн происходит перераспределение энергии в пространстве и, как следствие, в одних местах возникают максимумы, а в других – минимумы интенсивности. Когда интенсивность обеих интерферирующих волн одинакова, тогда в минимумах интенсивность равна нулю, а в максимумах учетверяется (энергия колебаний пропорциональна квадрату амплитуды).

Из формулы (I) видно, что при

$$\Delta\phi = 0, \pm 2\pi, \pm 4\pi, \dots, \pm 2\pi k, \quad (15)$$

где k – любое целое число,

$$A = A_1 + A_2,$$

и наблюдается максимум интенсивности,

а при

$$\Delta\phi = \pm\pi, \pm 3\pi, \dots, \pm (2k + 1)\pi \quad (16)$$

$$A = |A_1 - A_2|$$

и наблюдается минимум интенсивности.

Закономерен вопрос: почему не наблюдается интерференция световых потоков, излучаемых обычными источниками света? Прежде чем ответить на него, вспомним, что усиление колебаний происходит только в том случае, когда фазы слагаемых колебаний совпадают. Чтобы такие усиления колебаний были видны, необходимо совпадение по фазе в течение достаточно длительного времени. Волны, для которых разность фаз постоянна, называются *когерентными*.

В каждом источнике света фаза излучаемых колебаний хаотически меняется, излучение тел складывается из излучений отдельных атомов; длительность отдельного светового импульса составляет интервал 10^{-8} - 10^{-10} с. Таким образом, в каждом потоке световых импульсов в каждый момент времени имеются колебания с самыми разными фазами, а следовательно, между потоками света, исходящими от различных источников, не может быть определённой разности фаз и не может возникать интерференция. Вот почему интерференция наблюдается только от когерентных источников.

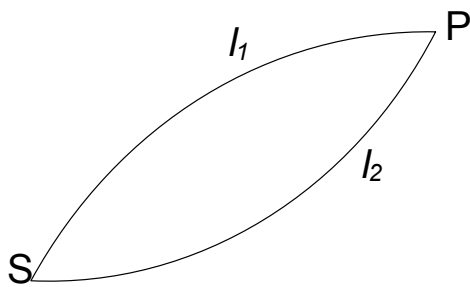


Рис . 18

Волны, для которых разность фаз хаотически изменяется во времени, называются *некогерентными*. При наложении некогерентных волн интенсивность суммарной волны $J \approx A^2$ быстро меняется во времени, при этом средняя интенсивность $\bar{J} = J_1 + J_2$, так как среднее значение $\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = 0$ и, следовательно, $A^2 = A_1^2 + A_2^2$.

Два разных источника света всегда являются некогерентными. Для получения когерентных световых волн волну, излучаемую источником света, делят на две и более части, которые проходят разные траектории и затем сходятся вместе. Части одной и той же волны всегда будут когерентны между собой, ибо если в источнике изменится фаза колебаний, то она в одинаковой мере изменится у всех частей волны и разность фаз между ними не изменится. В однородной среде разность фаз в этом случае определяется разностью пройденных расстояний.

Геометрическая разность хода Δ – это разность расстояний, пройденных волнами:

$$\Delta = l_1 - l_2 .$$

Пусть разделение на две когерентные волны происходит в точке S (рис. 2). До точки P первая волна проходит путь l_1 , вторая волна – путь l_2 . Из (1) следует, что разность фаз волн в точке P в этом случае равна

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{l_1 - l_2}{\lambda} = 2\pi \frac{\Delta}{\lambda} . \quad (17)$$

Из формул (3), (4) и (5) следует, что *максимумы* будут наблюдаться в точках для которых выполняется равенство:

$$\Delta = k \cdot \lambda, \quad (18)$$

т.е. *в разность хода укладывается целое число длин волн.*

Минимумы наблюдаются в точках, для которых

$$\Delta = (2k+1) \cdot \lambda/2, \quad (19)$$

т.е. *в разность хода укладывается нечетное число длин полуволн.*

Формулы (18) и (19) применимы только в однородной среде, и в эти формулы входит длина волны в этой среде.

В общем случае разность фаз зависит не только от пройденных расстояний, но и от скорости волн. Фактически разность фаз определяется временем запаздывания одной волны относительно другой. Для расчета времени и изменения фазы луча в тех случаях, когда свет проходит разные среды, используют оптическую длину луча. *Оптическая длина луча* – это тот путь, который свет прошел бы в вакууме за то же время, как и в данных средах. Для ее вычисления нужно длину пути в каждой среде умножить на показатель преломления этой среды:

$$l_{\text{опт}} = \sum n_i \cdot \Delta l_i. \quad (20)$$

Действительно, скорость света в среде $v=c/n$, следовательно, в вакууме свет прошел бы путь в n раз больший.

Оптическая длина пути учитывает изменение скорости и длины волны света при переходе из одной среды в другую. В оптической длине луча учитывают также изменение фазы при отражении света от оптически более плотной среды, т.е. среды с большим показателем преломления. В этом случае фаза меняется на противоположную, что эквивалентно прохождению $\lambda_0/2$. Поэтому при каждом отражении луча от оптически более плотной среды к его оптической длине прибавляют $\lambda_0/2$. При отражении от оптически менее плотной среды изменения фазы не происходит.

Величина, равная разности оптических длин проходимых волнами, называется *оптической разностью хода*:

$$\Delta_{\text{опт}} = l_{2\text{опт}} - l_{1\text{опт}}. \quad (21)$$

Таким образом, в общем случае, условия максимумов и минимумов могут быть выражены:

Максимумы,

$$\Delta_{\text{опт}} = k \cdot \lambda_0, \quad (22)$$

т.е. *в оптической разности хода укладывается целое число волн.*

Минимумы:

$$\Delta_{\text{опт}} = (2k+1) \cdot \lambda_0/2, \quad (23)$$

т.е. *в оптической разности хода укладывается нечетное число полуволн:*

В формулы (22) и (23) входит длина волны λ_0 в вакууме.

Интерференция света в тонких плёнках (в отражённом свете)

Пусть на прозрачную тонкую плоскопараллельную пластинку толщиной h падает параллельный пучок лучей. Мы будем считать, что свет падает из вакуума (воздуха) на пластину с показателем $n > 1$.

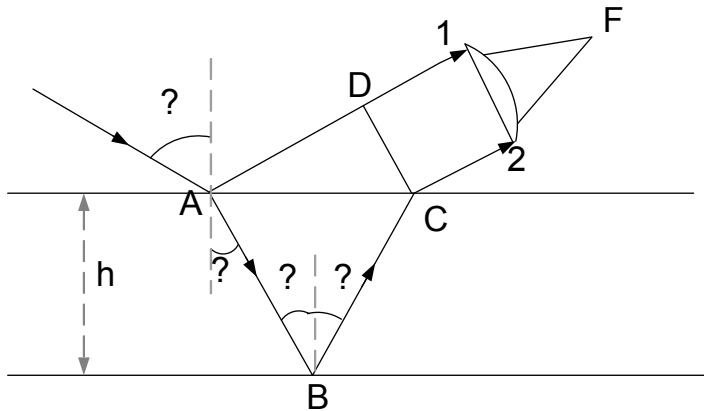


Рис. 19

Угол падения света α . На поверхности пластинки световая волна разделится на две части. Часть света (рис. 19) отразится от верхней поверхности пластинки (луч 1), а преломленная часть волны частично отразится от нижней поверхности в точке B и после преломления в точке C выйдет наружу (луч 2). Часть света, преломленная в точке B и отраженная в точке C , нас не интересует.

Оптические пути отражённой и преломлённой частей волны от общей волновой поверхности DC до места их наложения (в фокусе линзы F) одинаковы. А вот от точки A до DC между лучами возникает оптическая разность хода. Преломленная волна проходит путь $AB + BC$ в веществе пластинки, а отражённая волна проходит путь AD во внешней среде. Кроме того, у лучей 1 и 2 различные условия отражения: в точке B луч отразился от оптически менее плотной среды – воздуха, в точке A луч отразился от оптически более плотной пластинки, и при этом произошло изменение фазы на противоположную, что эквивалентно тому, как если бы путь волны увеличился на полдлины волны.

Оптическая разность хода:

$$\Delta = (AB + BC)n - \left(AD + \frac{\lambda}{2} \right) \quad (24)$$

из геометрических соображений $(AB + BC)n - AD = 2hn \cos \beta$, и

$$\Delta = 2hn \cos \beta - \frac{\lambda}{2} \quad (25)$$

При нормальном падении света ($\beta = 0$): $\Delta = 2hn - \frac{\lambda}{2}$.

Максимум интенсивности наблюдается, когда в оптической разности хода укладывается чётное число полуволн:

$$\Delta = 2hn - \frac{\lambda}{2} = 2k \frac{\lambda}{2}, \text{ т.е. } 2hn = k\lambda + \frac{\lambda}{2}. \quad (26)$$

Минимум интенсивности наблюдается, когда на оптической разности хода укладывается нечётное число полуволн:

$$\Delta = 2hn - \frac{\lambda}{2} = (2k - 1) \frac{\lambda}{2}, \text{ т.е. } 2hn = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda. \quad (27)$$

Если пластинка (плёнка) не плоскопараллельна (её толщина переменна), то в различных её местах условия интерференции будут различны. Геометрическое место точек, в которых условие интерференции одинаково, соответствует местам, в которых плёнка имеет одинаковую толщину. Интерференционные полосы, возникающие при этом, называют *полосами равной толщины*.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3-21

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ С ПОМОЩЬЮ КОЛЕЦ НЬЮТОНА

Кольца Ньютона – типичный пример линий равной толщины. Они наблюдаются при отражении света от системы, состоящей из плоскопараллельной пластинки и плоско-выпуклой линзы с большим радиусом кривизны. Между линзой и пластинкой (рис.20) около точки их соприкосновения О образуется тонкий воздушный клин. Полосами равной толщины в этом клине будут кольца – окружности с центром в точке О. Интерференционная картина возникает при

наложении волн, отражённых от верхней и нижней поверхностей воздушного зазора (точки A и B).

Луч, отражённый от верхней поверхности линзы, не интерферирует с этими лучами из-за большой разности хода. При отражении света от B происходит потеря полуволны.

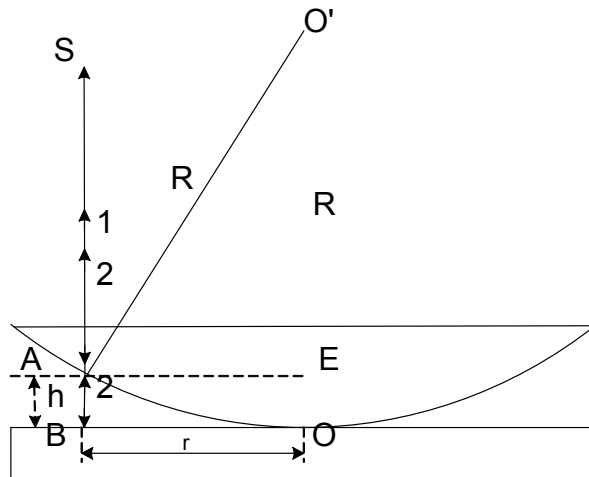


Рис. 20

Оптическая разность хода интерферирующих лучей (свет падает на линзу нормально): $\Delta = 2hn + \frac{\lambda}{2}$, где h – толщина зазора, n – показатель преломления среды между линзой и пластинкой.

Условия максимума в отражённом свете:

$$\Delta = 2k \frac{\lambda}{2} \quad \text{или} \quad 2hn = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}; \quad (28)$$

$$\text{Условия минимума:} \quad \Delta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad \text{или} \quad 2hn = 2k \frac{\lambda}{2}. \quad (29)$$

Обозначим радиус кольца Ньютона r , радиус кривизны линзы R . Из прямоугольного треугольника $AO'E$ следует:

$$R^2 = (R - h)^2 + r^2, \quad r^2 = 2Rh - h^2.$$

Пренебрегая членом h^2 как очень малым по сравнению с $2Rh$,

$$\text{находим:} \quad h = \frac{r^2}{2R}.$$

Подставляя h в формулы (28) и (29), получим для светлых колец в отражённом свете:

$$2 \frac{r^2 n}{2R} = (2k + 1) \frac{\lambda}{2};$$

$$r = \sqrt{\frac{(2k + 1) R \lambda}{2n}}. \quad (30)$$

Радиусы тёмных колец в отражённом свете находим из соотношения:

$$2 \frac{r^2 n}{2R} = 2k \frac{\lambda}{2}, \quad r_k = \sqrt{\frac{kR\lambda}{n}}. \quad (31)$$

Центральное пятно в отражённом свете будет темным, так как $h=0$

и $\Delta = \frac{\lambda}{2}$

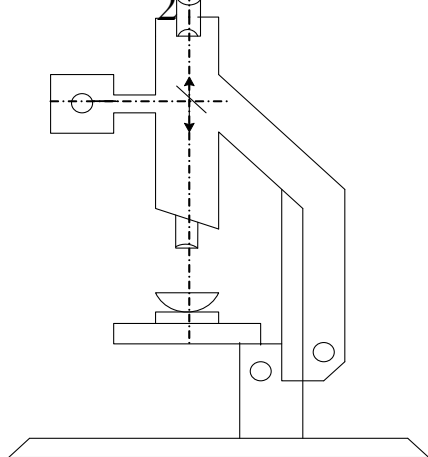


Рис . 21

Если контакт между линзой и пластинкой плохой, оно может быть светлым.

Если известен радиус кривизны линзы R , то, измеряя радиусы колец в интерференционной картине, можно определить длину волны света, падающего на линзу. Для темных колец получим

$$\lambda = \frac{n \cdot r_k^2}{kR}. \quad (32)$$

Описание установки

Установка представляет собой закреплённую с помощью специальных зажимов линзу, положенную на чёрную стеклянную пластинку, которая поглощает проходящие лучи. Радиус кривизны линзы известен.

Интерференционная картина наблюдается в отражённом свете. Источником света является помещённый в тубус микроскопа опак-иллюминатор со светофильтрами. Свет от источника (рис.21) собирается конденсором, проходит светофильтр и падает на линзу. Частично отражаясь от внутренней поверхности линзы и частично - от чёрной стеклянной пластинки, свет попадает внутрь оптической системы микроскопа, давая интерференционную картину, наблюдаемую через окуляр.

Радиусы колец измеряются при помощи прозрачной шкалы с делениями, называемой окуляр-микрометром, и находящейся в окуляре микроскопа. Предварительно необходимо определить цену деления этой шкалы. Для этого на предметный столик помещают объективный микрометр, специальную шкалу, закреплённую между стеклянными пластинками так, чтобы деления объективного

микрометра были расположены параллельно делениям окуляр-микрометра. Отсчитывают, сколько делений окуляр-микрометра N_2 укладывается в выбранном числе миллиметров N_1 на объективном микрометре. Цена деления окуляр-микрометра определяется из соотношения:

$$b = \frac{N_1}{N_2}, \text{ мм/дел.}$$

Удобнее измерять не радиусы колец, а их диаметры. Обозначив диаметры тёмных колец Ньютона d_k , измерив их в делениях шкалы,

можно выразить радиусы колец r_k в миллиметрах: $r_k = b \frac{d_k}{2}$.

Подставляя в (32), получим для длины волны света:

$$\lambda = \frac{nb^2 d_k^2}{4kR} \quad (33)$$

Так как цена деления окуляр-микрометра b , радиус кривизны линзы R во всех опытах постоянны, а показатель преломления воздуха, находящегося между линзой и чёрной пластинкой, $n=1$, то обозначив

$\frac{b^2}{4R} = m$, можно рассчитать m заранее, и тогда:

$$\lambda = m \frac{d_k^2}{k} \quad (34)$$

Диаметры колец удобно измерять следующим образом. Разместив шкалу по диаметру колец (рис. 22), записывают сначала столбиком деления шкалы a_k , на которые приходится левый наружный край первого кольца, второго кольца и т.д. Затем справа записывают деления шкалы b_k , на которые приходится внутренний правый край тёмных колец. Тогда диаметр кольца (табл. I): $d_k = b_k - a_k$.

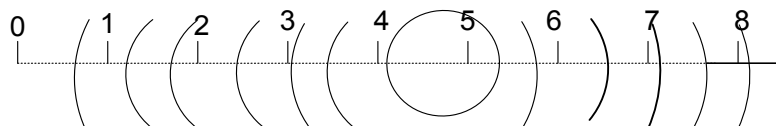


Рис. 22

Порядок выполнения работы

Таблица 5

k	a_k	b_k	d_k
1	3,4	5,8	2,3
2	3,0	6,4	3,4
3	2,4	7,1	4,7
4	1,8	7,6	5,8
5	1,2	8,1	6,9
6	0,6	8,6	7,9
7			

1. На предметный столик микроскопа положить оправу с линзой и пластинкой и получить чёткое изображение колец. Удобно сначала настроить микроскоп на чёткое изображение поверхности пластинки (видны отдельные царапины, пылинки). Это делается с помощью винта грубой фокусировки. Затем, осторожно перемещая обойму с линзой, найти кольца Ньютона и установить их так, чтобы шкала окуляр-микрометра проходила по диаметру колец. Затем микрометрическим винтом подстроить тубус микроскопа так, чтобы в окуляр были чётко видны кольца. На пути света (между осветителем и микроскопом) поставить светофильтр, пропускающий свет, длину волны которого нужно определить.

Вид интерференционной картины зависит от степени прижатия линзы к чёрной пластинке. Если линза будет прижата слишком сильно, то кольца деформируются и картина искажается (диаметр центрального пятна и первых колец сильно увеличивается), так как вместо точки соприкосновения линзы с пластинкой возникает поверхность соприкосновения. Ослабив прижимающие винты, следует добиться получения неискажённой картины. При слабом прижиге в центре может наблюдаться светлое пятно. При правильном прижиге диаметр второго кольца должен быть примерно в 1,4 раза больше диаметра первого.

2. Измерить диаметр 7-8 колец, следя за тем, чтобы линза окуляр-микрометра служила осью симметрии интерференционной картины. Одновременно с записью измеренного диаметра нужно отмечать и порядковый номер кольца k . Результаты измерений и вычислений заносят в табл. 6.

Из-за возможной стёртости поверхности линзы в точке соприкосновения с пластинкой, а также высокой степени прижатия линзы к пластинке крепящими винтами размеры первых колец могут быть искажены, и расчёт длины световой волны может получиться

неверным. Поэтому, если первые несколько значений λ сильно отличаются от остальных, их следует отбросить при расчёте среднего значения и погрешности. Число используемых при расчётах значений не должно быть меньше пяти.

3. Определить цену деления окуляр-микрометра. Для этого систему надо отрегулировать так, чтобы в поле зрения микроскопа было видно резкое изображение положенной на столик микроскопа специальной шкалы (миры), закреплённой между двумя стеклянными пластинками. Результаты занести в табл. 7. В эту же таблицу заносятся значения R и расчётные величины b и m . N_1 и R заносятся в нанометрах (нм), и длина волны вычисляется в нм.

Таблица 6

k	a_k дел	b_k дел	d_k дел	$\frac{d_k^2}{k}$	λ нм	$\Delta\lambda$	$(\Delta\lambda)^2$	Погрешность
1								$\Delta\lambda = S_{\bar{\lambda}}$
2								
·								
·								
·					$\bar{\lambda} =$		$S_{\bar{\lambda}} =$	$\bar{\lambda} = \dots \pm \dots \text{нм}$

Таблица 7

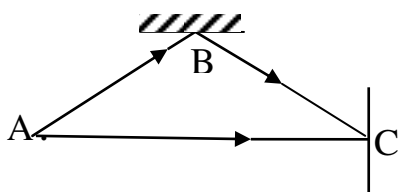
N_1 , мм	N_2 , дел	$b = \frac{\text{нм}}{\text{дел}}$	R , нм	$m = \frac{\text{нм}}{\text{дел}^2}$

Вопросы и задачи по теме 3-2

1. От двух когерентных источников распространяются волны с амплитудами 3 мм и 5 мм, длина волны 5 мм. Как и во сколько раз изменится интенсивность колебаний в точке после прихода второй волны, если разность хода волн в этой точке - 2,5 мм?

2. Свет с длиной волны в вакууме 0,6 мкм последовательно проходит через тонкие пластинки из разных сортов стекла. Показатели преломления стёкол - 1,5 и 1,8, толщины пластинок - 1 мм и 2 мм соответственно. Какова оптическая длина пути, пройденного светом? Как изменилась фаза волны после прохождения обеих пластинок? Какой путь должен пройти свет в вакууме для приобретения такой же разности фаз?

3. В точку C экрана от источника монохроматического света A



длиной волны $\lambda = 0,5$ мкм проходят два луча: непосредственно от источника перпендикулярный экрану луч AC (50,73 мм) и луч ABC ($AB=25,37$ мм), отражённый в точке B от зеркала, параллельного лучу AC . Что будет наблюдаться в точке C

экрана – усиление или ослабление интенсивности?

4. Между стеклянной пластинкой и лежащей на ней плосковыпуклой стеклянной линзой находится жидкость с показателем преломления 1,4. Радиус кривизны линзы $R=1$ м. Найти толщину слоя жидкости в том месте, где наблюдается восьмое тёмное кольцо в отражённом свете ($\lambda=700$ нм).

5. На мыльную плёнку ($n=1,33$) падает белый свет под углом 45° . При какой наименьшей толщине плёнки отражённые лучи будут окрашены в жёлтый цвет ($\lambda=0,6$ мкм)?

6. Установка для наблюдения колец Ньютона в отражённом свете освещается монохроматическим светом $\lambda=5 \cdot 10^{-3}$ А, падающим нормально. Пространство между линзой и стеклянной пластинкой заполнено водой. Найти толщину слоя воды между линзой и стеклянной пластинкой в том месте, где наблюдается третье светлое кольцо.

7. Диаметр четвёртого тёмного кольца Ньютона равен 9 мм. Радиус кривизны линзы - 8,6 м. Центральное нулевое пятно считать за нулевое кольцо. Найти длину волны падающего света.

8. Расстояние между пятым и двадцать пятым светлыми кольцами Ньютона равно 9 мм. Радиус кривизны линзы - 15 м. Найти длину волны монохроматического света, падающего на установку нормально. Наблюдение проводится в отражённом свете.

Библиографический список

1. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. В 3 т. Т.3. Оптика. Физика атомов и молекул. Физика атомного ядра и микрочастиц.-СПб.: Лань, 2007.-512 с.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3 т. Т.2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика : учебник. – 10-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2008. -496 с.

Содержание

Предисловие	3
ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ	3
ТЕМА 3-1. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА	6
<i>Вопросы и задачи по теме 3 – 1</i>	14
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 – 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЗЫ И ГРАДАНА	15
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 – 12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРЕНИЯ ИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕЛОМЛЕНИЯ	20
ТЕМА 3 – 2. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ	24
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 – 21. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ С ПОМОЩЬЮ КОЛЕЦ НЬЮТОНА	29
<i>Вопросы и задачи по теме 3 - 2</i>	35
Библиографический список	36