

КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ

Кафедра общей физики

Н.И.МОНАХОВА, Е.А.ФИЛИППОВА,

А.И.ФИШМАН

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ
ОБЩЕГО ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА
ПО ОПТИКЕ.
ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА.**

Казань – 2012

*Принято на заседании кафедры общей физики
Протокол № 8 от 6 марта 2012 года*

Рецензент:

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры оптики и нанофотоники
Института физики КФУ **Е.В. Сарандаев**

Монахова Н.И., Филиппова Е.А., Фишман А.И.

Экспериментальные задачи общего физического практикума по оптике. Геометрическая оптика / Н.И.Монахова, Е.А.Филиппова, А.И. Фишман – Казань: Казан. ун-т, 2012. – 27 с.

Методическое пособие «Экспериментальные задачи общего физического практикума по оптике. Геометрическая оптика.» предназначено для студентов физических и нефизических специальностей. Описаны лабораторные работы физического практикума общего курса физики, раздел «Оптика», по теме «Геометрическая оптика». К каждой работе даны подробные описания установок, порядок выполнения исследований и список вопросов для обсуждения с преподавателем, работа над которыми поможет глубже понять смысл полученных результатов.

**© Монахова Н.И., Филиппова Е.А.,
Фишман А.И., 2012**

**© Институт физики Казанского
(Приволжского) университета, 2012**

Оглавление

101. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ХОДА СВЕТОВЫХ ЛУЧЕЙ В ПРОСТЕЙШИХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ	5
Упражнение 1. Изучение хода лучей и определение фокусного расстояния тонкой линзы.	5
Упражнение 2. Изучение хода лучей в прямоугольной призме.....	6
Упражнение 3. Изучение хода лучей в выпукло-вогнутом сферическом зеркале.	6
Упражнение 4. Изучение хода лучей в плоскопараллельной пластинке и определение показателя преломления стекла.	7
Вопросы для обсуждения с преподавателем:	7
102. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ С ПОМОЩЬЮ МИКРОСКОПА.....	7
Упражнение 1. Определение линейных размеров и площадей объектов с помощью микроскопа	10
Упражнение 2. Определение коэффициента преломления стеклянной пластинки	10
Вопросы для обсуждения с преподавателем:	11
103. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ И НЕИЗВЕСТНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРА ПРИ ПОМОЩИ РЕФРАКТОМЕТРА	11
Упражнение. Измерение показателей преломления растворов глицерина и определение неизвестной концентрации.	14
Упражнение. Измерение показателей преломления растворов глицерина и определение неизвестной концентрации.	16
Вопросы для обсуждения с преподавателем:	17
104. ИЗУЧЕНИЕ ЦЕНТРИРОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ.	17
Упражнение 1. Определение фокусного расстояния тонкой собирающей линзы.	18
Упражнение 2. Определение фокусного расстояния собирающих линз методом Бесселя.	19
Упражнение 3. Определение фокусного расстояния собирающей линзы автоколлимационным методом.....	20
Упражнение 4. Определение фокусного расстояния тонкой рассеивающей линзы.	21

Упражнение 5. Определение фокусных расстояний собирающей и рассеивающей линз с помощью параллельных пучков света.	22
Вопросы для обсуждения с преподавателем:	23
105. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАРДИНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЛОЖНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	24
Вопросы для обсуждения с преподавателем:	26

101. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ХОДА СВЕТОВЫХ ЛУЧЕЙ В ПРОСТЕЙШИХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ

Цель работы: Изучение свойств простейших оптических элементов.

Решаемые задачи:

- построение хода лучей в плоскопараллельной пластинке, призме, сферическом зеркале и тонких линзах.

Оптические элементы и аппаратура:

- ✓ двояковыпуклая линза, разрезанная по диаметру;
- ✓ двояковогнутая линза, разрезанная по диаметру;
- ✓ выпукло-вогнутое сферическое зеркало;
- ✓ прямоугольная равнобедренная призма;
- ✓ плоскопараллельная стеклянная пластинка.

Упражнение 1. Изучение хода лучей и определение фокусного расстояния тонкой линзы.

1. На листе белой бумаги установить тонкую двояковыпуклую линзу, разрезанную по диаметру. Отметить карандашом крайние точки линзы и провести через них прямую MN (рис. 1).

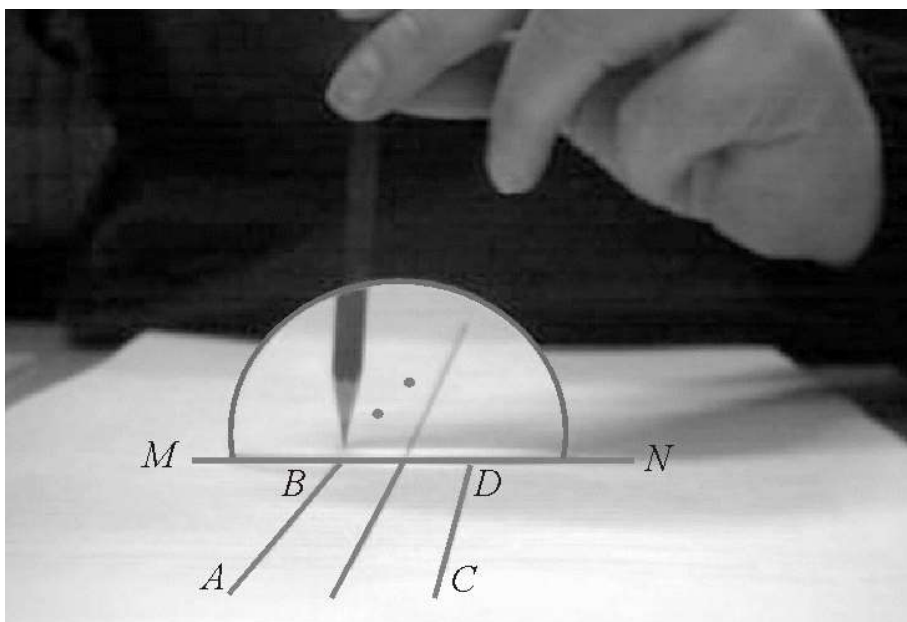


Рис.1 К построению хода лучей в простейших оптических системах

2. Убрав линзу, начертить отрезок MN и через его центр провести перпендикулярную прямую – главную оптическую ось линзы.
3. Провести несколько прямых линий AB , CD и т.д. параллельно главной оптической оси. Установить линзу на прежнее место.
4. Расположив глаз на уровне стола и глядя вдоль линии AB , карандашом, изображение которого вы наблюдаете через линзу, поставить несколько точек вдоль прямой, являющейся *кажущимся* продолжением прямой AB .

5. Соединить полученные точки прямой линией и продолжить ее до пересечения с главной оптической осью.
6. Повторить пункты 4 и 5 для других линий (CD и т.д.).
7. Указать на рисунке фокус линзы F и измерить фокусное расстояние.
8. Выполнить это упражнение с двояковогнутой линзой.

Упражнение 2. Изучение хода лучей в прямоугольной призме.

1. Посередине листа белой бумаги поместить прямоугольную призму, повернув ее к себе одной из граней, образующих прямой угол.
2. Провести линию перпендикулярно этой грани.
3. Глядя вдоль линии сквозь призму и перемещая карандаш вокруг нее, найти изображение карандаша.
4. Поместить изображение карандаша на воображаемом продолжении начерченной прямой и поставить вдоль этой линии несколько точек.
5. Соединить точки прямой линией и объяснить полученный результат.
6. Повернуть призму так, чтобы взгляд падал на грань, лежащую против прямого угла. Провести прямую линию перпендикулярно этой грани так, чтобы она не проходила через ее центр.
7. Глядя сквозь призму, поместить изображение карандаша на воображаемом продолжении прямой и поставить несколько точек вдоль этой линии.
8. Соединить точки прямой и объяснить полученный результат.

Упражнение 3. Изучение хода лучей в выпукло-вогнутом сферическом зеркале.

1. На листе белой бумаге провести прямую линию.
2. Установить зеркало на бумагу так, чтобы линия проходила через середину зеркала перпендикулярно к его поверхности. В этом случае линия – оптическая ось. Проверить перпендикулярность линии очень просто: линия и ее отражение в зеркале должны составлять одну прямую (без излома).
3. Провести произвольно несколько линий (AB , CD и т.д.) параллельно главной оптической оси.
4. Глядя вдоль линии на изображение карандаша в зеркале, поставить несколько точек вдоль воображаемого продолжения за зеркало линии AB .
5. Соединить эти точки прямой линией и продолжить ее до пересечения с главной оптической осью.
6. Повторить пункты 4 и 5 для других линий (CD и т.д.).
7. Указать на рисунке положение фокуса зеркала и измерить фокусное расстояние. Определить радиус кривизны зеркала.
8. Повернуть зеркало другой стороной и проделать пункты 1-7 для второй поверхности зеркала.

Упражнение 4. Изучение хода лучей в плоскопараллельной пластинке и определение показателя преломления стекла.

1. На листе белой бумаги провести прямую линию.
2. Установить плоскопараллельную пластинку перпендикулярно этой линии. При этом часть линии до пластинки и изображение другой части линии, наблюдаемое через пластинку, образуют одну прямую.
3. Поверните пластинку вокруг вертикальной оси. При этом изображение, видимое через пластинку, смещается на величину x (x зависит от угла падения α). Измерьте это смещение, угол падения и толщину пластинки d .
4. Выведите формулу, которая связывает показатель преломления n со смещением луча x , углом падения α и толщиной пластинки d .
5. Определите n - показатель преломления стекла, из которого изготовлена пластинка.

Вопросы для обсуждения с преподавателем:

1. Законы геометрической оптики.
2. Явление полного внутреннего отражения света.
3. Ход лучей в плоскопараллельной пластинке. Связь показателя преломления со смещением луча.
4. Ход лучей в призме. Угол наименьшего отклонения.
5. Сферическое зеркало и тонкая линза как простейшие центрированные оптические системы.
6. Построение изображений в сферическом зеркале и тонкой линзе.
7. Объясните результаты эксперимента.

Рекомендуемая литература.

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. §§75 - 79.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §§2, 9 - 11.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. Изд-во Лань, СПб, 2008. §§115-117.

102. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ С ПОМОЩЬЮ МИКРОСКОПА

Цель работы: освоить метод определения показателя преломления твердых прозрачных тел с помощью микроскопа

Решаемые задачи:

- познакомиться с принципом действия и работой микроскопа;
- определить показатель преломления плоскопараллельной пластинки.

Оптические элементы и аппаратура:

- ✓ микроскоп МБС-9;
- ✓ микрообъекты различных размеров и площади;
- ✓ линейка с миллиметровыми делениями;
- ✓ стеклянная пластинка;
- ✓ микрометр.

Если рассматривать предмет через плоскопараллельный слой прозрачного вещества, то вследствие преломления световых лучей на обеих плоских поверхностях слоя предмет будет казаться приподнятым, т.е. расположенным ближе, чем в действительности. Величина поднятия зависит от толщины слоя и показателя преломления вещества.

Рассмотрим некоторую точку на нижней поверхности пластинки, показатель преломления которой нам нужно определить (рис. 1). Проведем из точки O два световых луча OB и OC . После выхода их пластинки эти два луча пойдут по направлениям CD и BE . Наблюдая сверху, мы увидим изображение точки O на пересечении продолжений лучей CD и BE в точке O_1 . Точка O_1 оказывается ближе к поверхности на величину отрезка OO_1 .

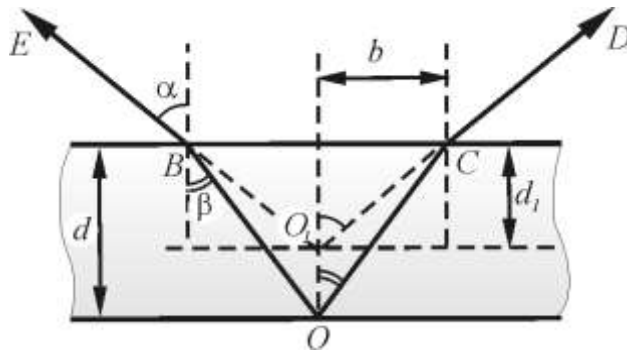


Рис.1. Ход лучей в плоскопараллельной пластинке

Пусть d – истинная толщина пластинки, d_1 – кажущаяся толщина пластинки.

Найдем количественную связь между показателем преломления пластинки n , толщиной d и величиной d_1 .

Из рисунка видно, что

$$\frac{b}{d} = \frac{l}{d_1} \\ \frac{d \sin \alpha}{d_1 \sin \beta} = 1$$

Используя закон преломления $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$, получим:

$$\frac{d}{d_1} = n \frac{\cos \beta}{\cos \alpha}$$

Если ограничиться рассмотрением лучей, близких к нормальному лучу, то при $\alpha \rightarrow 0$, соответственно, $\beta \rightarrow 0$ и $\frac{\cos \beta}{\cos \alpha} \approx 1$.

Тогда:

$$n = \frac{d}{d_1} \quad (1)$$

В работе используется микроскоп МБС-9, внешний вид которого представлен на рисунке. Основной узел прибора – оптическая головка 1, в которую вмонтированы все оптические детали. Главный оптический узел – объектив микроскопа 2 крепится снизу к корпусу оптической головки. Выше объектива в корпусе оптической головки установлен барабан, в котором смонтировано пять систем линз. При помощи рукоятки 3 можно поворачивать барабан и изменять увеличение объектива с выбранной системой линз. Величина результирующего увеличения объективной части приведена на рукоятке: 7; 4; 2; 1 и 0,6.

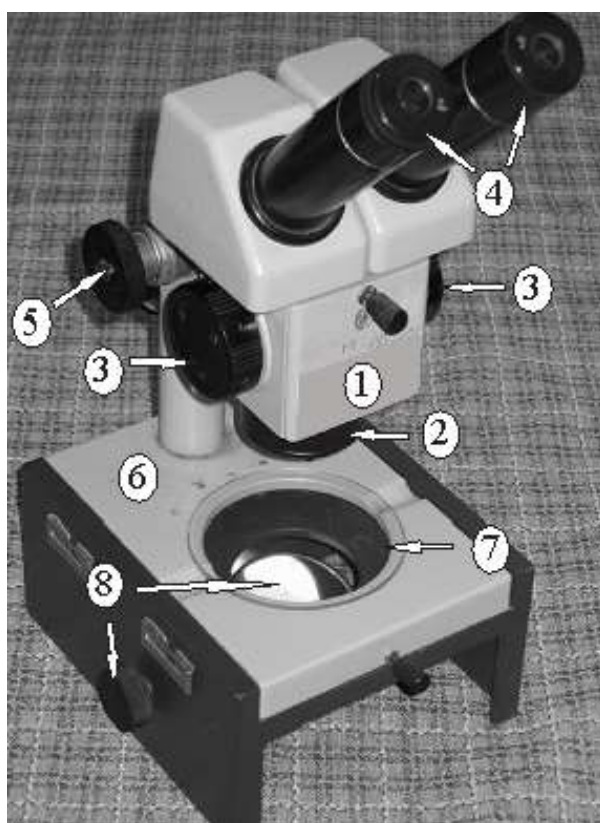


Рис. 2. Внешний вид микроскопа МБС-9

Чтобы установить нужное увеличение, достаточно, вращая барабан, совместить цифру на рукоятке с индексом, нанесенным в виде точки на корпусе микроскопа. При этом перефокусировку микроскопа проводить не

нужно. Каждое из положений барабана фиксируется щелчком специального пружинного фиксатора.

Сверху оптической головки установлены две окулярные трубки, в верхней части которых размещаются сменные окуляры 4, увеличение которых указано сверху. В данной работе используется окуляр с увеличением $8^{\times}$. В зависимости от положения рукоятки 3 общее увеличение микроскопа с этим окуляром может быть выбрано: 56; 32; 16; 8; 4,8.

Фокусировка микроскопа, т.е. перемещение оптической головки относительно объекта, производится при помощи рукоятки 5.

В верхней части основания микроскопа 6 имеется круглое окно 7, покрытое стеклом, на которое устанавливаются исследуемые объекты. Под стеклом располагается зеркало с рукояткой вращения 8.

Упражнение 1. Определение линейных размеров и площадей объектов с помощью микроскопа

Для оценки линейных размеров объектов используется специальный окуляр, внутри которого дополнительно помещены стеклянная пластинка со шкалой и диоптрийная трубка (окулярный микрометр). Он установлен в левой окулярной трубке.

Для того, чтобы добиться резкого изображения шкалы следует, удерживая окуляр, вращать диоптрийное кольцо с насечкой.

Для определения величины линейных размеров объектов нужно знать цену деления окулярного микрометра.

Если l – длина предмета в мм, а N – количество делений шкалы окулярного микрометра, то цена деления равна:

$$\alpha = \frac{l}{N}. \quad (2)$$

В качестве предмета известной длины удобно использовать участок шкалы линейки с миллиметровыми делениями.

Порядок выполнения задания:

1. Определить цену деления окулярного микрометра. Для этого установить ручку 3 в положение 1. Затем, рассматривая участок линейки длиной l , по шкале окулярного микрометра отсчитать соответствующее число делений N . По формуле (2) определить цену деления α .
2. Помещая на столик микроскопа предложенные объекты, определить их линейные размеры и площади.

Упражнение 2. Определение коэффициента преломления стеклянной пластинки

1. Измерить толщину пластинки при помощи микрометра в нескольких местах и найти её среднее арифметическое значение $d_{\text{ср}}$.
2. Измерить кажущуюся толщину пластинки при помощи микроскопа и определить показатель преломления. Для этого установить исследуемую пластинку на предметном столике микроскопа.

Исследуемая пластинка имеет две метки, нанесенные на верхней и нижней её поверхностях. Сфокусировать микроскоп сначала на одну метку, потом на другую, фиксируя каждый раз по отсчетному механизму (расположенному около ручки 5) положения объектива микроскопа. Цена деления отсчетного механизма указана на корпусе микроскопа. Разность этих отсчетов, умноженная на цену деления, дает кажущуюся толщину пластинки d_1 .

3. По формуле (1) определить показатель преломления пластинки.
4. Оценить погрешность определения показателя преломления. Привести результат в виде $n = n_p \pm \Delta n$.

Вопросы для обсуждения с преподавателем:

1. Законы отражения и преломления света.
2. Ход лучей в плоскопараллельной пластинке, тонких собирающих и рассеивающих линзах.
3. Микроскоп. Ход лучей в микроскопе. Увеличение микроскопа.
4. Метод определения показателя преломления с помощью микроскопа.
5. Сформулируйте цель работы, опишите экспериментальную часть и обсудите полученные результаты.

Рекомендуемая литература.

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. §§75 - 79.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §§2, 9 - 11.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. Изд-во Лань, СПб, 2008. §§115-117.
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.2, С-Пб., Невский диалект, 2003. §7.1, §7.2

103. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ И НЕИЗВЕСТНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРА ПРИ ПОМОЩИ РЕФРАКТОМЕТРА

Цель работы: освоить метод определения показателя преломления прозрачных жидкостей с помощью рефрактометра.

Решаемые задачи:

- изучить принцип действия рефрактометра;
- определить зависимость показателя преломления водного раствора глицерина от концентрации;
- определить неизвестную концентрацию раствора.

Оптические элементы и аппаратура:

- ✓ рефрактометры двух марок РДУ и ИРФ-454Б;

- ✓ набор эталонных растворов глицерина и раствор с неизвестной концентрацией;
- ✓ дистиллированная вода;
- ✓ пипетки и фильтровальная бумага.

Рефрактометром называют прибор, служащий для определения показателя преломления световых лучей в прозрачных жидкостях.

Принцип действия прибора основан на явлении полного внутреннего отражения, возникающем на границе раздела двух сред, при переходе луча из оптически более плотной в оптически менее плотную среду.

Главной частью рефрактометра является система двух прямоугольных призм – осветительной ($A_1B_1C_1$) и измерительной (ABC), сделанных из стекла с большим показателем преломления (рис. 1).

У осветительной призмы грань A_1B_1 матовая, а грань AB измерительной призмы полированная. Призмы расположены так, что между гранями остается узкое плоско-параллельный слой воздуха, который заполняется исследуемой жидкостью.

При работе в проходящем свете лучи от источника света проходят через грань B_1C_1 осветительной призмы и падают на матовую поверхность грани A_1B_1 . Вследствие рассеяния света матовой поверхностью в исследуемую жидкость входят лучи под всевозможными углами (см. точки a и b). Благодаря этому, углы падения лучей, падающих на границу AB жидкость-стекло, будут иметь значения от 0° до 90° .

Для луча, скользящего по границе раздела, угол падения $i_0 = 90^\circ$ и согласно закону преломления:

$$n_1 = n_2 \sin r_0,$$

где n_1 – показатель преломления жидкости, а n_2 – показатель преломления призмы ($n_1 < n_2$), r_0 – предельный угол полного внутреннего отражения.

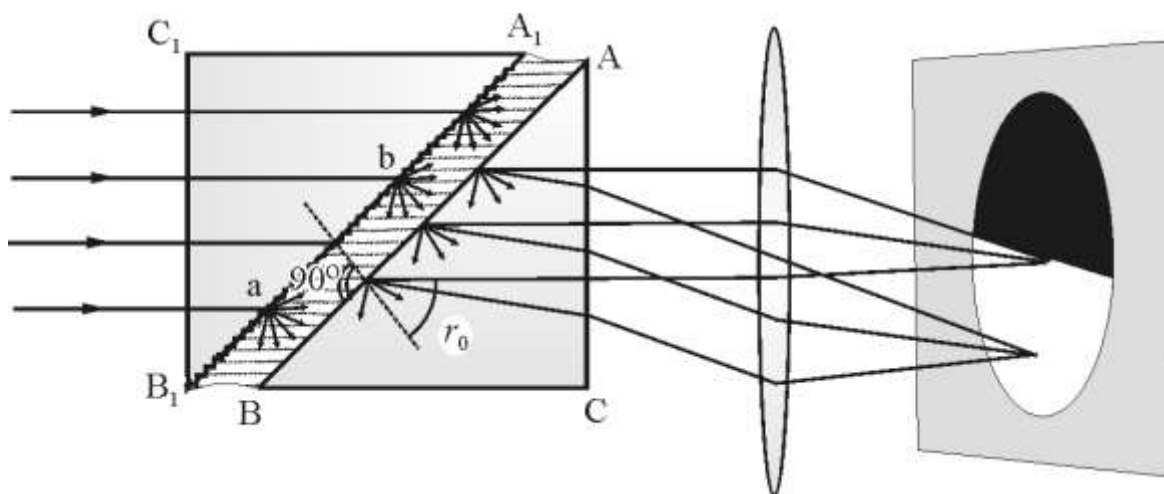


Рис.1. Ход лучей в системе призм.

Если на пути лучей, выходящих из измерительной призмы, поставить зрительную трубу, то нижняя половина её поля зрения будет освещена, а верхняя остается темной. При этом положение границы светотени определяется лучом, соответствующим предельному углу.

При работе в отраженном свете лучи света направлены на матовую грань ВС измерительной призмы. Лучи на ней рассеиваются, попадают на грань АВ под всевозможными углами и преломляются на границе стекло-жидкость. Те лучи, которые падают на поверхность АВ под углом меньшим предельного, пройдут в жидкость и далее в призму $A_1B_1C_1$. Лучи, которые упадут на границу под углом, большим предельного, претерпят в призме ABC полное внутреннее отражение и выйдут через границу AC. В поле зрения зрительной трубы будут наблюдаться две области: верхняя – ярко освещенная и нижняя – темная.

При наблюдении в белом свете граница света и тени из-за дисперсии будет размыта и окрашена. Для устранения окраски и получения резкого изображения границы служит компенсатор, состоящий из двух призм прямого зрения, которые могут вращаться во взаимно перпендикулярных направлениях.

Призма прямого зрения (призма Амичи) склеена из трех трехгранных призм (рис. 2), изготовленных из стекол разного сорта. Две крайних призмы изготовлены из крона с показателем преломления n_k , а средняя - из флинта (n_f , $n_f > n_k$). Такая призма, не меняя направления желтых лучей, отклоняет синие и фиолетовые лучи в сторону основания средней призмы, а оранжевые и красные – в сторону ее вершины.

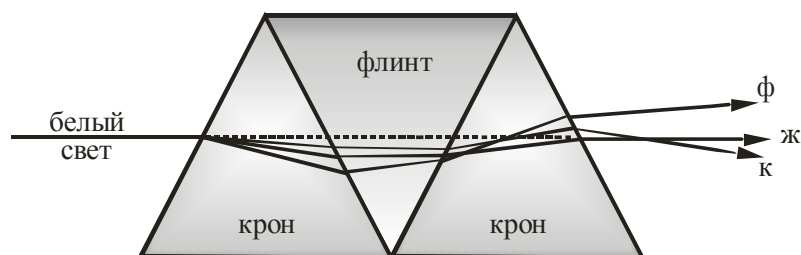


Рис. 2. Ход лучей в призме Амичи.

Если на пути выходящего из измерительной призмы пучка цветных лучей установить призму Амичи так, чтобы ее дисперсия оказалась равной по величине и противоположной по знаку дисперсии измерительной призмы, то суммарная дисперсия будет равна нулю, а пучок цветных лучей соберется в белый луч. Практически удобнее использовать две призмы прямого зрения, общую дисперсию которых легко регулировать, вращая их относительно друг друга.

Смоделировать работу компенсатора можно следующим образом. Возьмите у лаборанта две призмы Амичи. Установите их вдоль одной оптической оси и посмотрите на хорошо освещенный предмет. Вы увидите, что он имеет размытые, окрашенные границы. Вращайте призмы вдоль оптической оси и добейтесь исчезновения радужной окраски.

Данная лабораторная работа может быть выполнена с использованием рефрактометров двух марок: РДУ и ИРФ-454Б. Ниже приводится их описания и порядок выполнения работы. Выберите нужный вариант.

Описание рефрактометра РДУ и порядка выполнения измерений.

На основании 1 (рис. 3) установлена стойка 2, к которой крепится корпус 3. На корпусе укреплена зрительная труба 4 и микроскоп 5. Микроскоп позволяет рассмотреть шкалу показателей преломления изучаемого вещества. Перед зрительной трубой внутри корпуса установлен дисперсионный компенсатор 6, который поворачивается вращением ручки 7. На одной оси с корпусом находится камера измерительной призмы 8, связанная шарниром с камерой осветительной призмы 9. Для удобства нанесения раствора на измерительную призму, корпус совместно с камерами можно повернуть вращением ручки 10. Для направления светового потока на входную грань осветительной призмы служит зеркало 11.

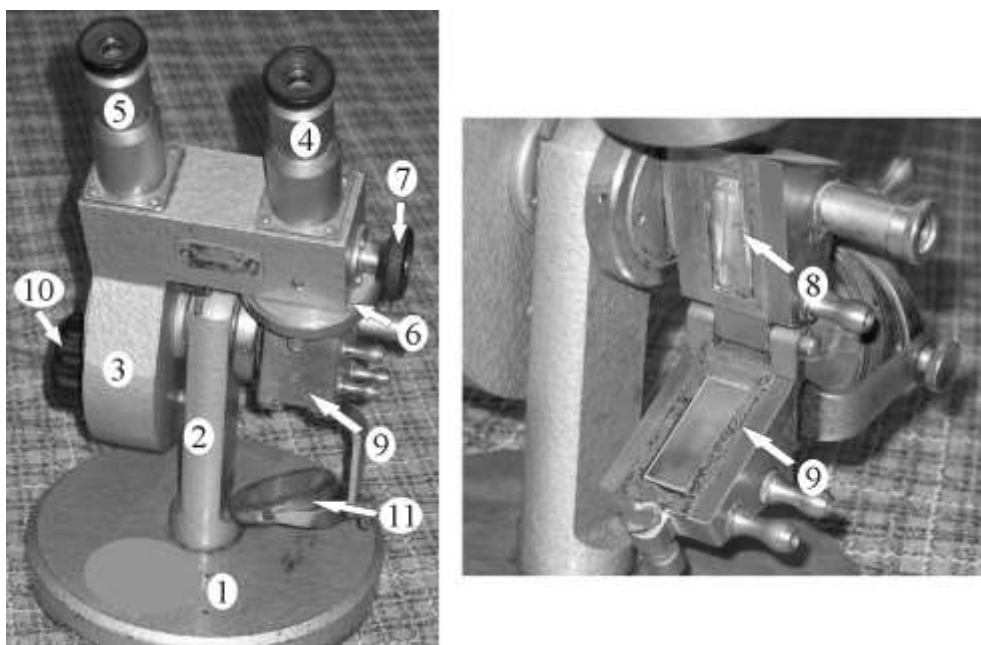


Рис. 3. Внешний вид рефрактометра РДУ

Упражнение. Измерение показателей преломления растворов глицерина и определение неизвестной концентрации.

1. Повернуть ручкой 10 от себя до упора корпус совместно с камерами. При этом полированная грань измерительной призмы устанавливается горизонтально. Проверив чистоту ее поверхности, нанести на нее при помощи стеклянной палочки или пипетки несколько капель исследуемой жидкости. Затем опустить на шарнире камеру осветительной призмы до соприкосновения с камерой измерительной призмы и прижать их друг к другу рукояткой замка. После этого корпус совместно с камерами вращением ручки 10 в противоположном направлении до упора установить в удобное для наблюдения положение.

2. Установить зеркало в положении полного заполнения световым потоком окна осветительной призмы.
3. При помощи ручки 10 медленно вращать камеру с измерительной призмой до тех пор, пока в поле зрения зрительной трубы не попадает граница света и тени.
4. Для полного устранения радужной окраски границы светотени необходимо вращать дисперсионный компенсатор ручкой 7.
5. Совместить перекрестие сетки зрительной трубы с границей светотени (ручка (10)). Рассматривая шкалу показателей преломления в микроскоп, снять отсчет по этой шкале.
6. Произвести подобные измерения для эталонных растворов и раствора с неизвестной концентрацией. После каждого измерения тщательно удалять жидкость с поверхности призмы фильтровальной бумагой.
7. Построить градуировочный график (зависимость n от концентрации) и по нему определить неизвестную концентрацию.

Примечание

Для определения истинного коэффициента преломления раствора глицерина неизвестной концентрации необходимо предварительно проверить правильность градуировки шкалы, используя для этого дистиллированную воду с $n_v = 1,333$.

Повторить с дистиллированной водой пункты 1–6 упражнения и, в случае отклонения показателя шкалы от 1,333, внести соответствующие поправки.

Описание рефрактометра ИРФ-454 и порядка выполнения измерений.

Рефрактометр ИРФ-454Б позволяет исследовать вещества с показателем преломления от 1,2 до 1,7. Измерения проводятся в белом свете. Показатель преломления прозрачных сред определяют в проходящем свете.

На корпусе 1 (рис. 4) установлен рефрактометрический блок 2 и окуляр 3. В левой части корпуса расположено зеркало 4 с крышкой (на рисунке оно не видно).

Рефрактометрический блок состоит из двух частей: верхней и нижней. Нижняя неподвижная часть является измерительной призмой, а верхняя – осветительной призмой. Осветительную призму за рукоятку 5 можно откинуть на угол $\sim 100^\circ$, предварительно сняв крючок 6.

Установка окуляра. Откройте крышку зеркала 4 и окно осветительной призмы. Вывинтите окуляр до упора. Затем поворачивайте его по часовой стрелке до тех пор, пока перекрестие в верхней части освещенного поля зрения не будет видно резко. Одновременно фокусируется на резкость и изображение шкалы.

При измерении показателя преломления жидкостей на чистую полированную поверхность измерительной призмы стеклянной палочкой или

пипеткой осторожно, не касаясь призмы, нанесите 2-3 капли жидкости. Опустите осветительную призму и прижмите ее крючком 6. Поворотом зеркала 4, добейтесь максимальной освещенности шкалы. Вращением маховика 7 введите в верхнем поле зрения окуляра границу светотени. Вращайте маховик 8 до исчезновения окраски граничной линии. Наблюдая в окуляр, маховиком 7 наведите границу светотени точно на перекрестие и по нижней шкале снимите отсчет показателя преломления.

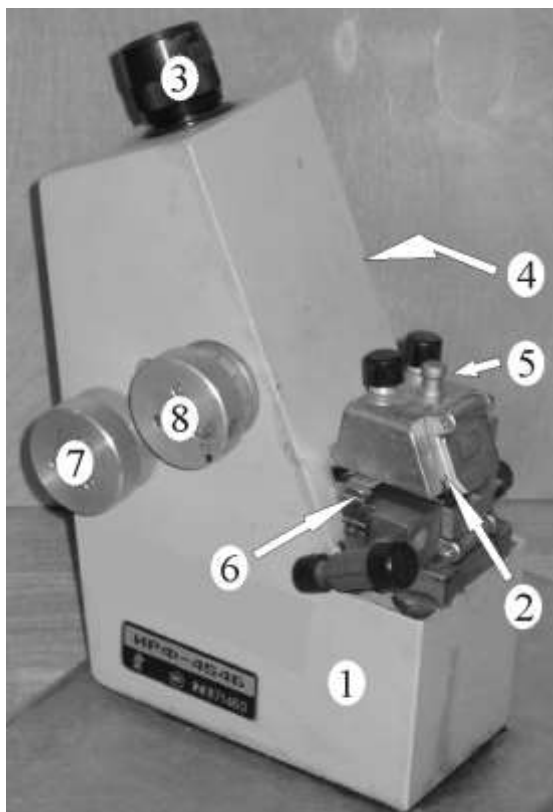


Рис.4. Внешний вид рефрактометра ИРФ-454Б

Упражнение. Измерение показателей преломления растворов глицерина и определение неизвестной концентрации.

1. Измерить показатель преломления дистиллированной воды. Его табличное значение равно $n_{\text{в}} = 1,333$. Определить поправку к показаниям рефрактометра.

2. Измерить показатель преломления эталонных растворов глицерина и раствора с неизвестной концентрацией (с учетом поправки). После каждого измерения тщательно удалять жидкость с поверхности призмы фильтровальной бумагой.

3. Построить градуировочный график (зависимость n от концентрации) и по нему определить неизвестную концентрацию.

Вопросы для обсуждения с преподавателем:

1. Отражение и преломление света на границе двух диэлектриков.
2. Законы отражения и преломления света. Полное внутреннее отражение света.
3. Связь показателя преломления с концентрацией. Формула Лоренц-Лорентца.
4. Принципиальная оптическая схема рефрактометра; назначение отдельных элементов.
5. Ход лучей в призмах рефрактометра в проходящем и в отраженном свете.
6. Какова роль зрительной трубы в формировании изображения границы света и тени?
7. Сформулируйте цель работы, опишите экспериментальную часть и обсудите результаты.

Рекомендуемая литература.

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. §§75 - 79.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §§2, 9 - 11.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. Изд-во Лань, СПб, 2008. §§115-117.
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.2, С-Пб., Невский диалект, 2003. §7.1, §7.2

104. ИЗУЧЕНИЕ ЦЕНТРИРОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ.

Цель работы: изучить законы построения изображения в центрированных оптических системах.

Решаемые задачи:

- приобрести навыки юстировки центрированных оптических систем;
- освоить методы измерения фокусных расстояний собирающих и рассеивающих линз;
- пронаблюдать экспериментально зависимость вида изображения от положения предмета относительно фокусного расстояния линзы.

Оптические элементы и аппаратура:

- ✓ малый оптический рельс на подставке;
- ✓ лампа накаливания в корпусе и блок питания;
- ✓ асферический конденсор со штативом для диафрагмы;
- ✓ полупрозрачный экран;
- ✓ 5 собирающих линз с фокусными расстояниями $f = 50, 100, 150, 200$ и 300 мм;
- ✓ рассеивающая линза с фокусным расстоянием $f = -100$ мм;

- ✓ набор из двух прозрачных стекол с рисунком для исследования изображений;
- ✓ рулетка длиной 2 м.

Упражнение 1. Определение фокусного расстояния тонкой собирающей линзы.

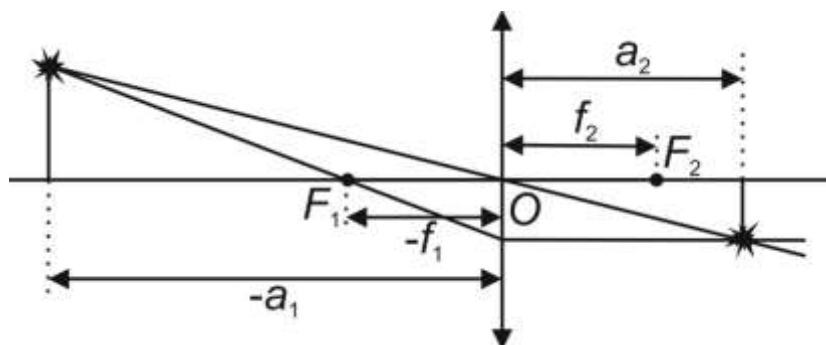


Рис.1 Ход лучей в тонкой линзе.

Если менять расстояние между предметом и линзой ($-a_1$), то изображение будет формироваться на различных расстояниях a_2 от линзы. Так как величины a_1 и a_2 связаны соотношением:

$$\frac{1}{(-a_1)} + \frac{1}{a_2} = \frac{1}{f_2}, \quad (1)$$

то величину фокусного расстояния линзы f_2 или $(-f_1)$ можно определить по графику зависимости $\frac{1}{a_2}$ от $\frac{1}{(-a_1)}$ как обратную величину отрезка, отсекаемого графиком на оси ординат.

Порядок выполнения задания:

1. На оптической скамье расположить осветитель, собирающую линзу и экран (рис.2).

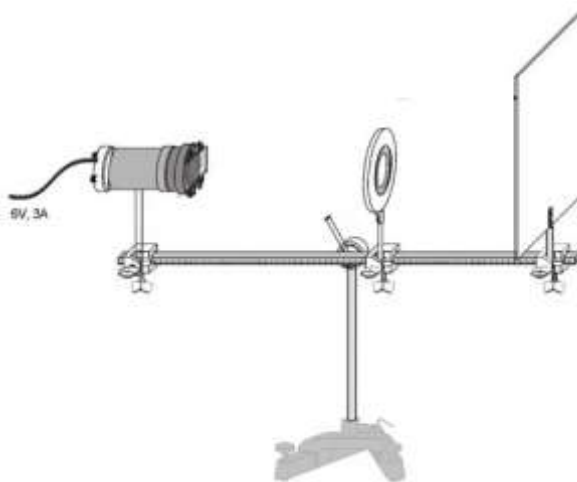


Рис.2. Экспериментальная установка для определения фокусного расстояния собирающей линзы.

2. В штатив на асферическом конденсоре вставить диафрагму в виде стрелки.
3. Включить осветитель в сеть.
4. Переместить экран на конец рельса.

5. Перемещая исследуемую линзу между экраном и предметом добиться на экране четкого изображения стрелки.
6. Измерить расстояния $(-a_1)$ и a_2 .
7. Уменьшить расстояние между предметом и экраном на 3-4 см и снова измерить расстояния $(-a_1)$ и a_2 .
8. Повторить эти измерения для 4-5 расстояний между предметом и экраном.
9. Построить график, откладывая по осям координат величины $x = \frac{1}{(-a_1)}$ и $y = \frac{1}{a_2}$ и по графику определить фокусное расстояние линзы.

Упражнение 2. Определение фокусного расстояния собирающих линз методом Бесселя.

Если между предметом и экраном расстояние больше $4f$, то находят два положения линзы, одно из которых соответствует увеличенному, другое – уменьшенному изображениям (рис.2). Расстояние между объектом и экраном остается неизменным.

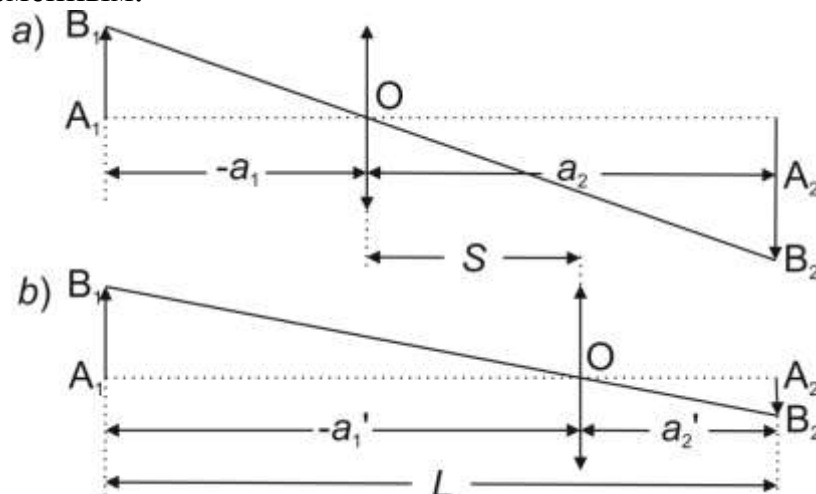


Рис.3. К определению фокусного расстояния тонкой собирающей линзы методом Бесселя.

Обозначив $S = (-a_1') - (-a_1)$ и $L = (-a_1) + a_2$, с учетом (1) получим формулу Бесселя для определения фокусного расстояния:

$$f = \frac{L^2 - S^2}{4L} \quad (2)$$

Порядок выполнения задания:

1. Установите лампу с асферическим конденсором с края оптического рельса. Вставьте в штатив для диафрагм прозрачное стекло с рисунком.
2. Расположите полупрозрачный экран на расстоянии около 50 см от объекта.
3. Линзу с $f = 100$ мм установите между штативом для диафрагм и экраном (рис 4).

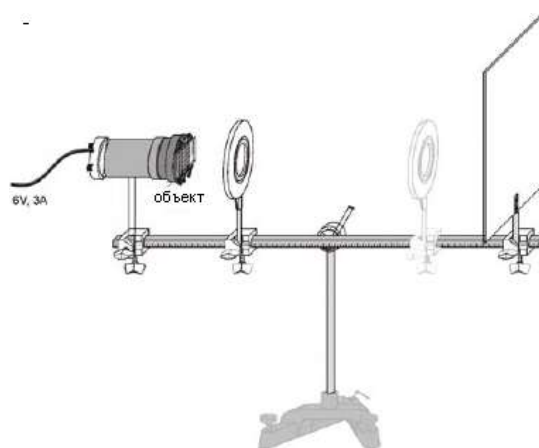


Рис.4. Экспериментальная установка для определения фокусного расстояния линзы методом Бесселя.

4. Двигайте зажим с линзой по направлению к объекту до тех пор, пока не получите четкое изображение на экране, после чего измерьте расстояние a_2 между линзой и экраном.
5. Двигайте линзу по направлению к экрану до тех пор, пока снова не получите четкого изображения. Измерьте расстояние a'_2 между линзой и экраном.
6. Определите $S = (-a'_1) - (-a_1) = a_2 - a'_2$ и по формуле (2) рассчитайте фокусное расстояние линзы.
7. Повторите эксперимент с линзой $f = 150$ мм.

Упражнение 3. Определение фокусного расстояния собирающей линзы автоколлимационным методом.

Автоколлимационный метод основан на обратимости хода световых лучей, идущих параллельно оптической оси. Если объект поместить в фокусе линзы, то после линзы будет распространяться параллельный оптической оси пучок света. Стоящее позади линзы плоское зеркало будет отражать этот свет таким образом, что изображение объекта будет наблюдаться рядом с объектом (рис.5). При этом расстояние d между линзой и изображением будет равно фокусному расстоянию линзы f .

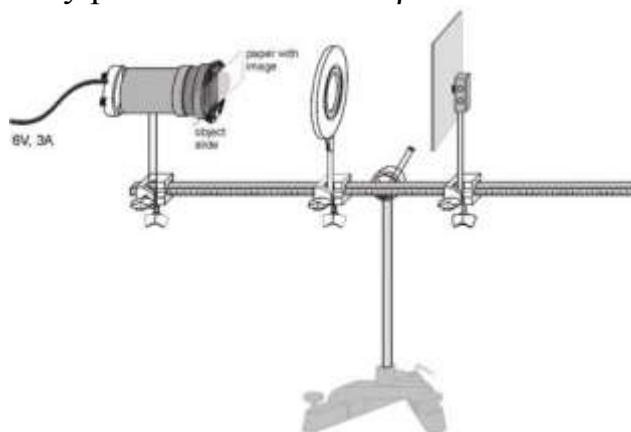


Рис.5 Экспериментальная установка для определения фокусного расстояния линзы автоколлимационным методом.

Порядок выполнения задания:

1. Установить лампу с асферическим конденсором на оптический рельс, как показано на рисунке 5.
2. Установить линзу $f = +150$ мм таким образом, чтобы свет проходил через линзу вдоль оптической оси. Расстояние между линзой и штативом для диафрагм должно быть порядка фокусного расстояния линзы.
3. Вставить прозрачное стекло с узором (объект) и белый лист бумаги (экран для наблюдения изображения объекта) в штатив для диафрагм, в соответствии с рис.5. И бумага, и объект должны закрывать половину линзы конденсора.
4. Установить зеркало позади линзы. Расстояние между линзой и зеркалом может быть выбрано меньше фокусного расстояния.
5. Подстраивайте положение линзы до тех пор, пока изображение узора на бумаге не станет четким. Возможно, понадобится подстраивать положения зеркала и линзы до тех пор, пока изображение не станет одного размера с оригиналом.
6. Измерьте расстояние d между линзой и плоскостью объекта (изображения).
7. Повторите эксперимент с другими линзами.

Упражнение 4. Определение фокусного расстояния тонкой рассеивающей линзы.

Фокусное расстояние отрицательной линзы определяется с помощью вспомогательной положительной линзы.

Если на пути лучей, выходящих из источника S и сходящихся в точке S_1 после преломления в собирающей линзе 1 (рис.6) поместить рассеивающую линзу 2 так, чтобы расстояние a_1 было меньше ее фокусного расстояния, то изображение источника S удалится от линзы 1. Предположим, что оно переместится в точку S_2 . Для линзы 2 точка S_1 является предметом, а S_2 – изображением.

Тогда, согласно (1) можно найти положение заднего фокуса рассеивающей линзы:

$$f_2 = \frac{a_1 a_2}{a_1 - a_2} \quad (3)$$

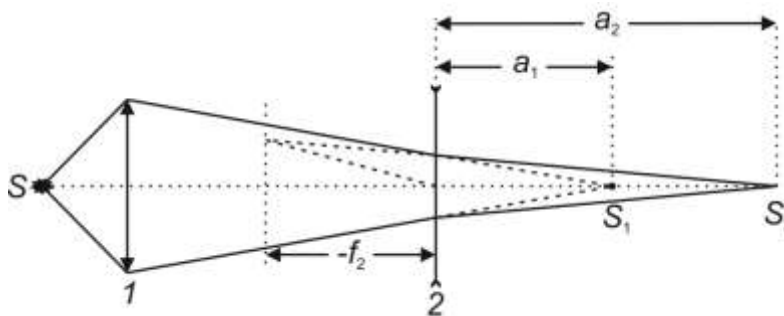


Рис.6. К определению фокусного расстояния рассеивающей линзы.

Порядок выполнения задания:

1. На оптической скамье расположите осветитель, собирающую линзу с $f = 100$ мм и экран, как показано на рис.2.
2. Вставьте в штатив для диафрагм прозрачное стекло с рисунком.
3. Поместите линзу на расстояние ~ 30 см от объекта и перемещая экран, получите на нем отчетливое изображение рисунка (уменьшенное). Отметьте это положение экрана (точка S_1).
4. На оптическую скамью между собирающей линзой и экраном поместите исследуемую рассеивающую линзу.
5. Перемещая экран, вновь найти отчетливое изображение рисунка (точка S_2).
6. Определив расстояния a_1 и a_2 (рис.6), по формуле (3) вычислить фокусное расстояние f рассеивающей линзы.

Упражнение 5. Определение фокусных расстояний собирающей и рассеивающей линз с помощью параллельных пучков света.

Порядок выполнения задания:

1. Установить лампу с асферическим конденсором и полупрозрачный экран на оптический рельс, как показано на рис. 7. Линзу пока не устанавливать.

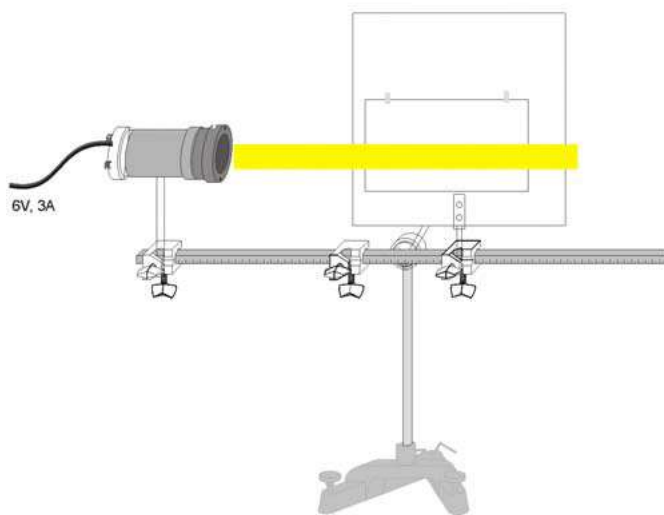


Рис.7. Исходная экспериментальная установка.

2. Создать параллельный пучок света, направленный вдоль оптической оси. Для этого перемещая лампу относительно конденсора, получить четкое изображение спирали лампы (горизонтальное) в наиболее удаленной точке (например, на стене).
3. На экране зафиксировать лист белой бумаги. Убедиться, что пучок света параллелен.
4. Установить линзу с $f = 100$ мм в зажиме перед экраном.
5. Отметить точку пересечения лучей преломленного пучка, вышедшего из линзы (рис.8) и измерить фокусное расстояние.

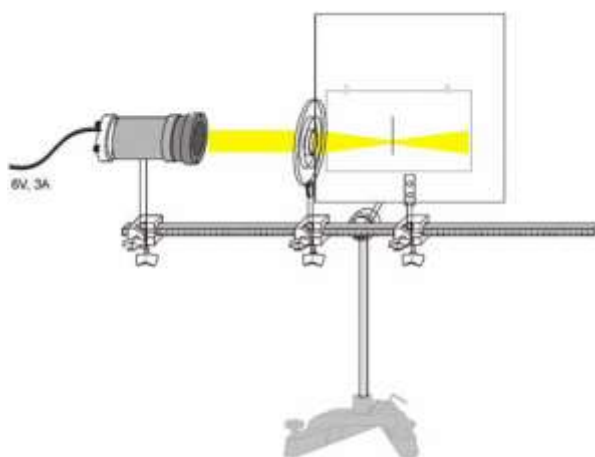


Рис.8. Экспериментальная установка для определения фокусных расстояний собирающих линз с помощью параллельных пучков.

6. Для определения фокусного расстояния рассеивающей линзы, сложить лист белой бумаги вдвое и закрепить на экран таким образом, чтобы изгиб совпадал с краем экрана вблизи линзы (рис.9).
7. Установить линзу $f = -100\text{мм}$ в зажиме перед экраном.
8. Зафиксировать форму преломленного пучка света на бумаге, проведя линии вдоль границы освещенной области (рис.9).
9. Снять лист бумаги, развернуть, продолжить полученные линии до пересечения, и определить фокусное расстояние линзы, как показано на рис.9.

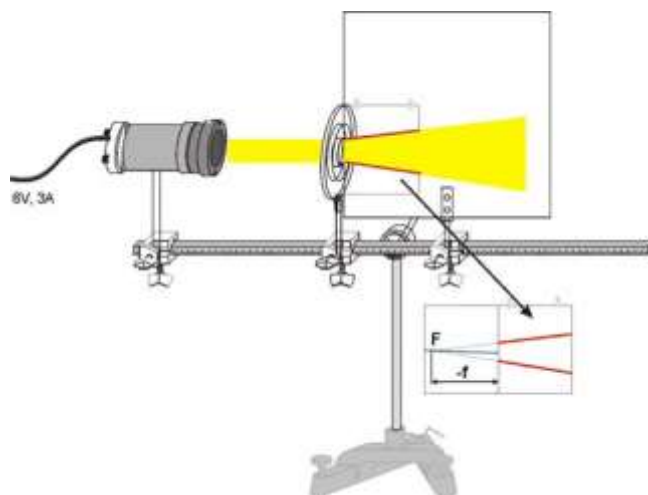


Рис.9 Экспериментальная установка для определения фокусного расстояния рассеивающей линзы с помощью параллельных пучков.

Вопросы для обсуждения с преподавателем:

1. Центрированная оптическая система (ЦОС)
2. Кардинальные элементы ЦОС. Построение изображений в ЦОС.
3. Тонкая линза. Оптическая сила линзы.
4. Методы определения фокусных расстояний собирающих и рассеивающих линз.

Рекомендуемая литература.

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. §§75 - 79.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §§2, 9 - 11.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. Лань, СПб, 2008. §§115-117.
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.2, С-Пб., Невский диалект, 2003. §7.1, §7.2

105. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАРДИНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЛОЖНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Цель работы: определить главные фокусные расстояния и положения главных плоскостей центрированной оптической системы, состоящей из двух положительных линз.

Решаемые задачи:

- приобрести навыки юстировки центрированных оптических систем;
- освоить методы измерения фокусных расстояний собирающих линз;
- пронаблюдать экспериментально зависимость вида изображения от положения предмета относительно фокусного расстояния линзы;
- освоить методы расчета сложных центрированных оптических систем.

Оптические элементы и аппаратура:

- ✓ оптический рельс с держателями (рейтерами);
- ✓ лампа накаливания в корпусе и блок питания;
- ✓ асферический конденсор со штативом для диафрагмы;
- ✓ полупрозрачный экран;
- ✓ две собирающие линзы с фокусными расстояниями $f = 150$ и 200 мм;
- ✓ диафрагма с отверстием в виде стрелки;
- ✓ рулетка длиной 2 м.

Порядок выполнения работы.

1. Установить на оптическом рельсе лампу накаливания, держатель с первой линзой и экран. В держатель для диафрагм, закрепленный на корпусе лампы, вставить диафрагму с отверстием в виде стрелки. Определить фокусное расстояние первой линзы. Для этого получить изображение предмета (стрелки) на экране и измерить расстояния от линзы до предмета ($-a_1$) и от линзы до изображения (a_2). Повторить эти измерения 6 – 8 раз для различных положений линзы. Так как расстояния $-a_1$ и a_2 связаны соотношением $1/a_2 - 1/a_1 = 1/f_2$, то фокусное расстояние первой линзы f_2 можно определить по графику зависимости величины $1/a_2$ от $1/(-a_1)$.
2. Аналогичным образом определить фокусное расстояние второй тонкой линзы.
3. Установить на оптическом рельсе обе линзы так, чтобы держатели, в которых они закреплены, плотно соприкасались друг с другом. При этом

расстояние между линзами становится порядка 6,5 см. Определить способом Бесселя главное фокусное расстояние F полученной оптической системы. Для этого установить расстояние L между предметом и экраном 70 – 80 см. Перемещая систему вдоль оптической скамьи, найти положение системы, при котором на экране образуется увеличенное изображение. Измерить расстояние от предмета до первой линзы ($-a_1$), рис.1а. Далее найти положение системы, соответствующее уменьшенному изображению предмета, и вновь измерить расстояние от предмета до первой линзы ($-a_2$), рис.1б. Определить расстояние S , на которое пришлось переместить систему: $S = (-a_2) - (-a_1)$.

4. Фокусные расстояния системы можно определить по формуле Бесселя:

$$F_2 = -F_1 = \frac{(L - e)^2 - S^2}{4(L - e)}, \quad (1)$$

где e – расстояние между главными плоскостями H и H' . Эту величину необходимо рассчитать, например, матричным методом. Вывод формулы (1) приведен в приложении.

5. Построением определить положения главных плоскостей и фокусов системы, состоящей из двух положительных линз, фокусные расстояния которых были измерены в задании 1 и 2. Сравнить полученные результаты.

Приложение

Вывод формулы Бесселя для сложных оптических систем.

С помощью оптической системы (ОС) на экране получается действительное изображение предмета (рис.1а). Пусть L – расстояние от предмета до изображения, $(-a_1)$ – расстояние от предмета до главной плоскости H , a_1' – расстояние от главной плоскости H' до изображения, e – расстояние между главными плоскостями.

Тогда $L = a_1' + e - a_1$ и, следовательно, $a_1' = (L - e) + a_1$.

Для данной ОС
$$\frac{1}{a_1} - \frac{1}{a_1'} = -\frac{1}{F_2}$$

Подставив в последнее соотношение a_1' , получим квадратное уравнение

$$a_1^2 + (L - e)a_1 + (L - e)F_2 = 0 \quad (2)$$

дискриминант которого $D = \sqrt{(L - e)^2 - 4F_2(L - e)}$.

Если $(L - e) > 4F$, то уравнение имеет два вещественных корня

$$a_1 = \frac{-(L - e) + \sqrt{D}}{2} \quad \text{и} \quad a_2 = \frac{-(L - e) - \sqrt{D}}{2}.$$

А это означает, что существуют два положения оптической системы (ОС), одно из которых соответствует увеличенному (рис.1а), а другое -

уменьшенному изображению предмета (рис.1б). Расстояние между объектом и экраном (L) остается неизменным.

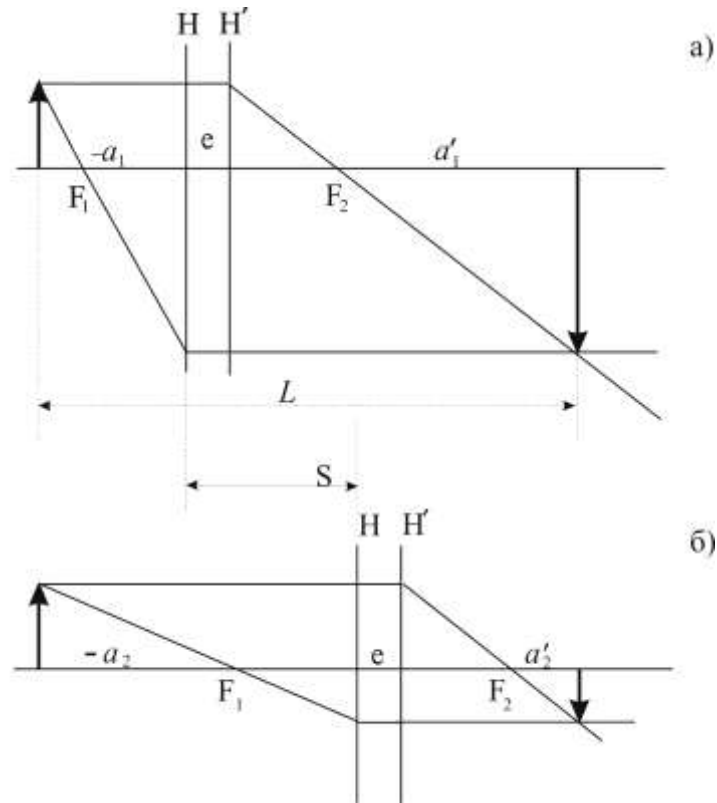


Рис.1 К выводу формулы Бесселя.

Поскольку a_1 и a_2 - отрицательные величины, причем $|a_2| > |a_1|$, положительная величина S - расстояние между передними главными плоскостями для первого и второго положений (ОС) (см. рис.1) равна

$$S = a_1 - a_2 = \sqrt{(L - e)^2 - 4F_2(L - e)}. \quad (3)$$

Отсюда $F_2 = \frac{(L - e)^2 - S^2}{4(L - e)} = -F_1.$

Вопросы для обсуждения с преподавателем:

- 1.Центрированная оптическая система (ЦОС)
- 2.Кардинальные элементы ЦОС. Построение изображений в ЦОС.
- 3.Тонкая линза. Оптическая сила линзы.
- 4.Методы определения фокусных расстояний собирающих и рассеивающих линз.
5. Матричный метод расчета центрированных оптических систем.

Рекомендуемая литература.

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. §§75 - 79.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §§2, 9 - 11.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. Лань, СПб, 2008. §§115-117.
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.2, С-Пб., Невский диалект, 2003. §7.1, §7.2

Учебное издание

Монахова Наталья Ивановна, **Филиппова** Елена Алексеевна,
Фишман Александр Израилович

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ
ОБЩЕГО ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА ПО ОПТИКЕ.
ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА.**

Дизайн обложки

Подписано в печать.

Бумага офсетная. Печать цифровая.

Формат 60х84 1/16. Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. .

Тираж экз. Заказ

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии Издательства Казанского университета

420008, г. Казань, ул. Профессора Нухина, 1/37
тел. (843) 233-73-59, 233-73-28