

**Методические указания к лабораторной работе
«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНЫХ РАССТОЯНИЙ
ВЫПУКЛОЙ И ВОГНУТОЙ ЛИНЗ»**

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучить законы и принципы геометрической оптики.
2. Определить фокусные расстояния собирающей и рассеивающей линз различными методами.

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Оптическая скамья.
2. Собирающая и рассеивающая линзы.
3. Экран.
4. Осветитель с диафрагмой в виде стрелки.

І. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ

Оптика – раздел физики, изучающий природу и свойства света. Свет играет колоссальную роль в жизни человека. Основным природным источником света служит Солнце. Благодаря опытам с солнечными лучами, в оптику вошло понятие светового луча. Световым *лучом* называют линию, вдоль которой распространяется световая энергия.

Изучение оптических явлений началось до нашей эры. Первые законы оптики были установлены задолго до создания электродинамики и открытия электромагнитных волн. Они легли в основу исторически первого и наиболее простого раздела оптики. Он базируется на известных теоремах классической геометрии и нескольких экспериментально установленных законах, поэтому называется геометрическим. *Геометрическая* или *лучевая оптика* занимается изучением распространения световых лучей в однородных прозрачных средах.

Представления о природе света и его свойствах с тех пор значительно изменились. Свет представляет собой сложное явление: в одних случаях он ведёт себя как электромагнитная волна, в других – как поток особых частиц (фотонов). Установлено, что законы геометрической оптики носят приближенный характер. Но, даже являясь достаточно грубым приближением, геометрическая оптика до сих пор имеет огромное практическое значение. Она позволяет простыми математическими средствами объяснить возникновение теней, образование изображений в оптических системах; на её положениях создана современная теория оптических приборов.

В основе геометрической оптики лежат следующие законы:

1. закон прямолинейного распространения света – в однородной среде свет распространяется по прямым линиям (отступление от закона – явление дифракции);

2. закон независимости световых пучков – распространение светового пучка в среде не зависит от наличия других пучков (отступление от закона – явление интерференции);

3. закон отражения света от поверхности раздела двух сред – падающий и отраженный лучи света лежат в одной плоскости с нормалью к границе раздела двух сред, проведённой через точку падения, причём угол падения равен углу отражения;

4. закон преломления света на границе раздела прозрачных сред – падающий и преломленный лучи лежат в плоскости падения (отступление от этого закона наблюдается в двулучепреломляющих средах), для угла падения α и угла преломления β справедливо соотношение:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta,$$

где n_1 и n_2 – абсолютные показатели преломления света соответственно первой и второй оптически однородных и изотропных сред;

5. закон обратимости распространения световых лучей – луч света, распространившийся по определённой траектории в одном направлении, повторит свой ход в точности при распространении и в обратном направлении (отступление от закона наблюдается в прозрачных кристаллах, в которых направление и скорость распространения света зависит от его поляризации).

Одним из элементов большинства оптических систем является *сферическая линза* – оптически прозрачное однородное тело, ограниченное с боковых сторон двумя сферическими (или одной сферической и одной плоской) поверхностями, имеющими общую ось. Линзы могут быть также параболическими, цилиндрическими и т. д. Материалом для линз служат стекло, кварц, кристаллы, пластмассы и т. п.

Ход лучей в линзе зависит от радиуса её кривизны R . По внешним формам линзы делят на двояковыпуклые, плоско-выпуклые, вогнуто-выпуклые, двояковогнутые, плоско-вогнутые и выпукло-вогнутые (рис. 1). Если поверхность линзы выпуклая, то $R > 0$, если вогнутая – радиус кривизны отрицателен, $R < 0$; при плоской поверхности линзы $R \rightarrow \infty$. Обратим внимание, что соглашение о знаках варьируется. В различных областях оптики знак радиуса кривизны, нумерацию поверхностей и прочее определяют по-разному. Следует соблюдать осторожность при использовании формул, взятых из разных источников.

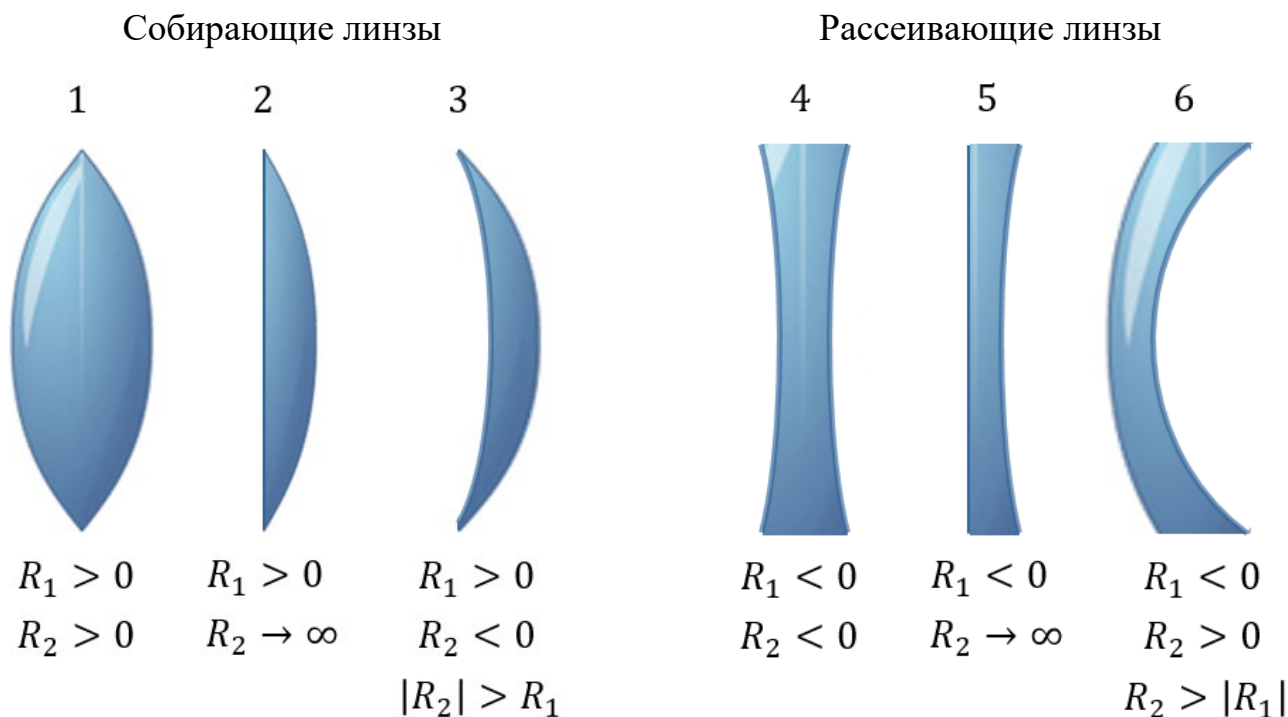


Рис. 1. Типы линз: 1 – двояковыпуклая, 2 – плоско-выпуклая, 3 – вогнуто-выпуклая, 4 – двояковогнутая, 5 – плоско-вогнутая, 6 – выпукло-вогнутая

По оптическим свойствам линзы делят на собирающие (положительные) и рассеивающие (отрицательные). *Собирающие* линзы преобразуют пучок параллельный лучей в сходящийся. Толщина этих линз в центральной части

больше, чем по краям. Линзы 1, 2 и 3 на рис. 1 являются собирающими, но только в том случае, если абсолютный показатель преломления линзы больше абсолютного показателя преломления среды. В противном случае эти линзы будут рассеивающими. Если после прохождения линзы пучок параллельных лучей становится расходящимся, линзу называют *рассеивающей*. Толщина таких линз в центральной части меньше, чем по краям. Таким образом, линзы 4, 5, 6 на рис. 1 являются рассеивающими, если абсолютный показатель преломления линзы больше абсолютного показателя преломления среды. Иначе они будут собирающими.

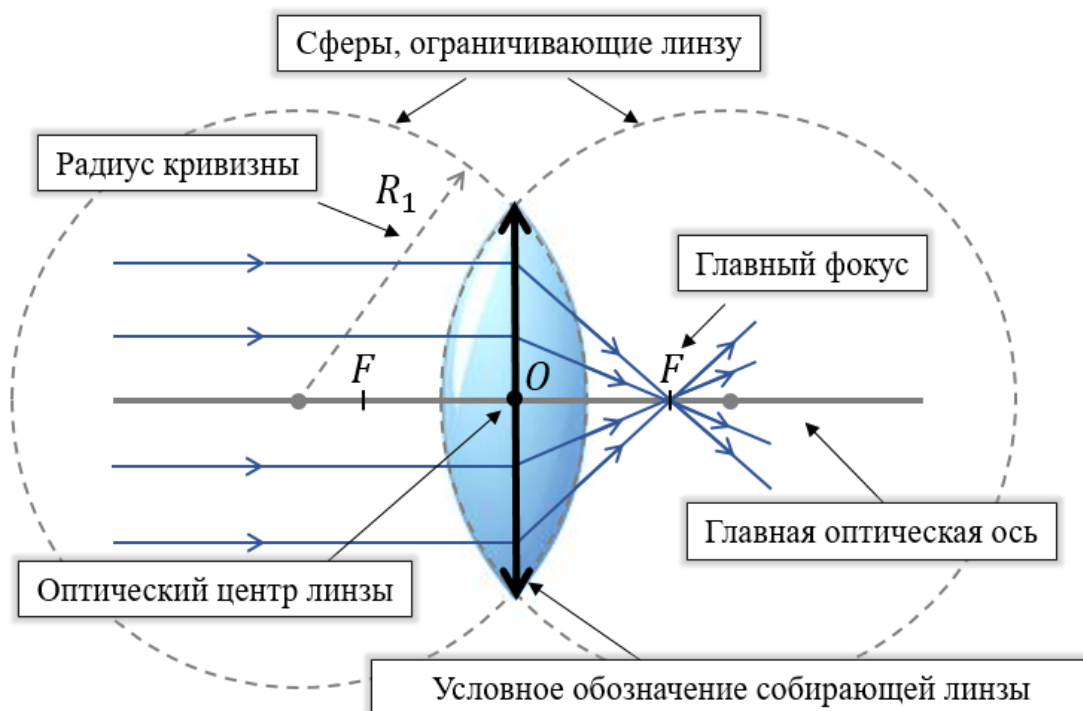


Рис. 2. Собирающая линза

Прямая линия, проходящая через центры кривизны обеих поверхностей линзы, называется *главной оптической осью* (рис. 2 и 3). Если толщина самой линзы мала по сравнению с радиусами кривизны её поверхностей, то линзу называют *тонкой*. Тонкую линзу принято изображать плоскостью, перпендикулярной главной оптической оси. Точка пересечения главной оптической оси с плоскостью тонкой линзы называется её *оптическим центром*. Любой луч света проходит через оптический центр линзы, не отклоняясь от первоначального направления, поскольку в окрестности центра линза представляет собой плоскопараллельную пластинку бесконечно малой толщины. Любая линия, проходящая через оптический центр линзы, называется оптической осью линзы, главной или побочной (рис. 2–4). Условные обозначения собирающей и рассеивающей тонких линз выделены жирным контуром на рис. 2 и 3.

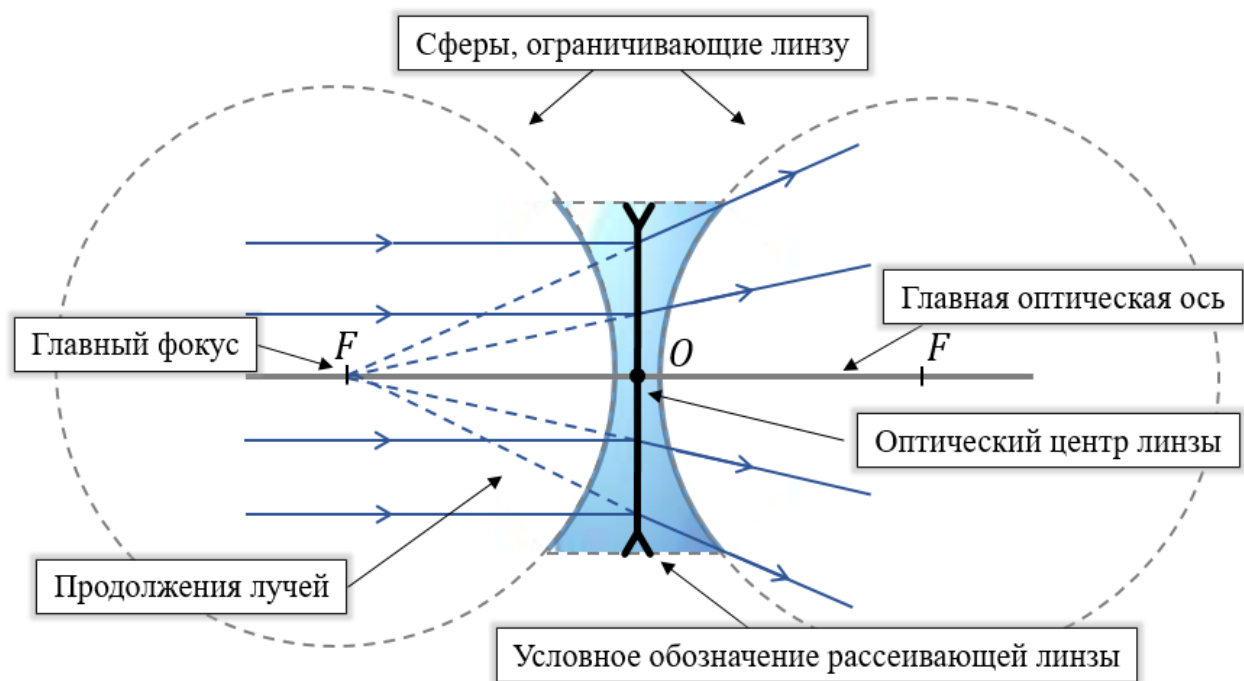


Рис. 3. Рассеивающая линза

Если все лучи светового пучка, которые прошли через оптическую систему, снова пересекаются в некоторой точке (рис. 2 и 4), говорят, что оптическая система формирует *действительное изображение*, а саму точку пересечения лучей называют изображением. Возможен вариант, при котором после выхода из системы будут пересекаться не сами лучи, а их продолжения (пунктирные линии на рис. 3 и 4). В этом случае принято говорить о формировании *мнимого изображения*. Действительное изображение можно увидеть на экране. Мнимое изображение непосредственно спроецировать на экран нельзя, но его можно увидеть глазом также, как и действительное изображение. Действительным и мнимым может быть и источник света (предмет).

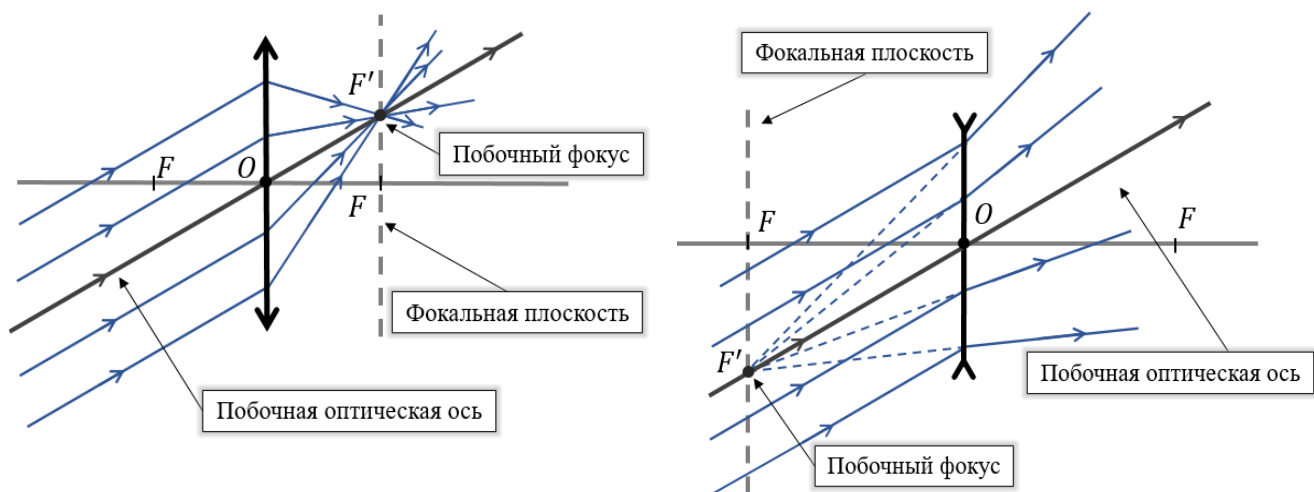


Рис. 4. Побочная оптическая ось, фокальная плоскость и побочный фокус

Если на линзу направить пучок лучей, параллельных главной оптической оси, то после прохождения линзы все лучи соберутся в одной точке, называемой *главным фокусом линзы*. Или наоборот, согласно обратимости лучей, они будут казаться исходящими из фокуса (рис. 2 и 3). Фокус линзы может быть как действительным, так и мнимым.

Фокусным расстоянием F линзы называют расстояние от оптического центра линзы до её главного фокуса. Фокусное расстояние сферической линзы можно найти по формуле:

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

где R_1 и R_2 – радиусы кривизны сферических поверхностей линзы; n_{21} – относительный показатель преломления, равный отношению абсолютных показателей преломления материала линзы и окружающей среды. Таким образом, при $n_{21} > 1$, если обе поверхности линзы – выпуклые, то $F > 0$ (линза собирающая), если вогнутые, то $F < 0$ (линза рассеивающая). Если одна из поверхностей выпуклая, а вторая – вогнутая, то линза, в зависимости от соотношения радиусов кривизны, может быть как собирающей, так и рассеивающей.

Каждая тонкая линза имеет два главных фокуса (передний и задний). Фокусы могут меняться ролями в зависимости от того, с какой стороны на линзу падает свет. Оба фокуса даже для несимметричной линзы находятся на одинаковых расстояниях от неё, так как выражение (1) не меняется при замене R_1 на R_2 и наоборот. Плоскость, перпендикулярная главной оптической оси и находящаяся от центра линзы на расстоянии, равном $|F|$, называется *фокальной плоскостью* линзы (рис. 4).

Величина D , обратная фокусному расстоянию F :

$$D = \frac{1}{F},$$

называется *оптической силой* линзы. Оптическая сила измеряется в диоптриях ($1 \text{ дптр} = \text{м}^{-1}$). Она характеризует преломляющую способность линзы. В отличие от фокусного расстояния, определяющего в основном масштаб изображения, оптическая сила определяет сходимость пучка. Для собирающих линз оптическая сила $D > 0$, для рассеивающих линз $D < 0$.

Для тонкой линзы справедливо следующее равенство (формула тонкой линзы):

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}, \quad (2)$$

где d – расстояние от предмета до линзы, f – расстояние от линзы до изображения (рис. 5). Величины d и f могут быть как положительными, так и отрицательными. Если источник и его изображение являются действительными, то $d > 0$ и $f > 0$. В этом случае источник света (предмет)

и его изображение находятся по разные стороны от преломляющей поверхности. Если же источник или его изображение – мнимые, то и соответствующие значения d или f отрицательны; предмет и изображение находятся по одну сторону от линзы.

Если прямолинейный источник расположен параллельно плоскости линзы, то и его изображение также будет параллельным этой плоскости (рис. 5). Отношение поперечных размеров изображения H и предмета h называют *линейным увеличением* линзы:

$$\Gamma = \frac{H}{h}. \quad (3)$$

Нетрудно получить следующую формулу для линейного увеличения Γ :

$$\Gamma = \frac{|f|}{|d|}. \quad (4)$$

В зависимости от соотношения между расстоянием от источника до линзы d и фокусным расстоянием линзы F , изображение может быть действительным или мнимым; увеличенным, равным или уменьшенным; прямым или обратным (неперевернутым или перевернутым). В таблицах 1 и 2 приведены данные о характеристиках изображения, получаемого с помощью собирающей и рассеивающей линз.

Таблица 1

Характеристика изображения в зависимости от положений источника и изображения в случае собирающей линзы ($F > 0$)

№	Положение источника, d	Положение изображения, f	Характеристики изображения
1	$d > 2F$	$F < f < 2F$	Обратное, действительное, уменьшенное
2	$d = 2F$	$f = 2F$	Обратное, действительное, равное
3	$F < d < 2F$	$f > 2F$	Обратное, действительное, увеличенное
4	$0 < d < F$	$f < 0$	Прямое, мнимое, увеличенное
5	$d < 0$	$f > 0$	Прямое, действительное, уменьшенное

Таблица 2

Характеристика изображения в зависимости от положений источника и изображения в случае рассеивающей линзы ($F < 0$)

№	Положение источника, d	Положение изображения, f	Характеристики изображения
1	$d > 0$	$f < 0$	Прямое, мнимое, уменьшенное
2	$- F < d < 0$	$f > 0$	Прямое, действительное, увеличенное
3	$-2 F < d < - F $	$f < -2 F $	Обратное, мнимое, увеличенное
4	$d = -2 F $	$f = -2 F $	Обратное, мнимое, равное
5	$d < -2 F $	$-2 F < f < - F $	Обратное, мнимое, уменьшенное

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ ТОНКОЙ СОБИРАЮЩЕЙ ЛИНЗЫ

Существует много методов экспериментального определения фокусного расстояния линз. Остановимся лишь на тех, которые будут использованы в данной лабораторной работе.

Способ 1. По расстояниям от предмета и его изображения до линзы

Фокусное расстояние F можно определить, исходя из формулы (2) для тонкой линзы:

$$F = \frac{d \cdot f}{d + f}. \quad (5)$$

Расположив предмет, собирающую линзу и экран, как показано на рис. 5 и добившись чёткого изображения предмета на экране, измеряют расстояния d и f . Так как на экране можно наблюдать только действительное изображение, то для собирающей линзы должно выполняться условие $d > F$ (табл. 1). Недостатком такого способа определения F является то, что в действительности любая линза не является тонкой, и необходимо учитывать расстояние между её поверхностями.

Способ 2. По величине перемещения линзы

Для более точного определения фокусного расстояния используют метод перемещения линзы (метод Бесселя). Если расстояние $L = d + f$ от предмета до изображения более $4F$, то всегда найдутся два таких положения линзы, при которых на экране получается отчётливое изображение предмета: в одном случае – уменьшенное, а в другом – увеличенное (рис. 5). Фокусное расстояние F можно оценить, используя результаты выше описанного способа или иных.

Пусть l – расстояние между первым и вторым положением линзы (рис. 5). Согласно формуле (5), для первого положения линзы можно записать

$$F = \frac{(L - l - x)(l + x)}{L},$$

для второго положения линзы

$$F = \frac{(L - x)x}{L}.$$

Приравняв правые части равенств, получаем, что расстояние x между линзой и экраном во втором случае есть

$$x = \frac{L - l}{2}.$$

Следовательно,

$$x = d, L - x = f,$$

причём два рассматриваемых положения линзы симметричны относительно середины расстояния между предметом и его изображением. Поэтому

$$F = \frac{(L - l)(L + l)}{4L}.$$

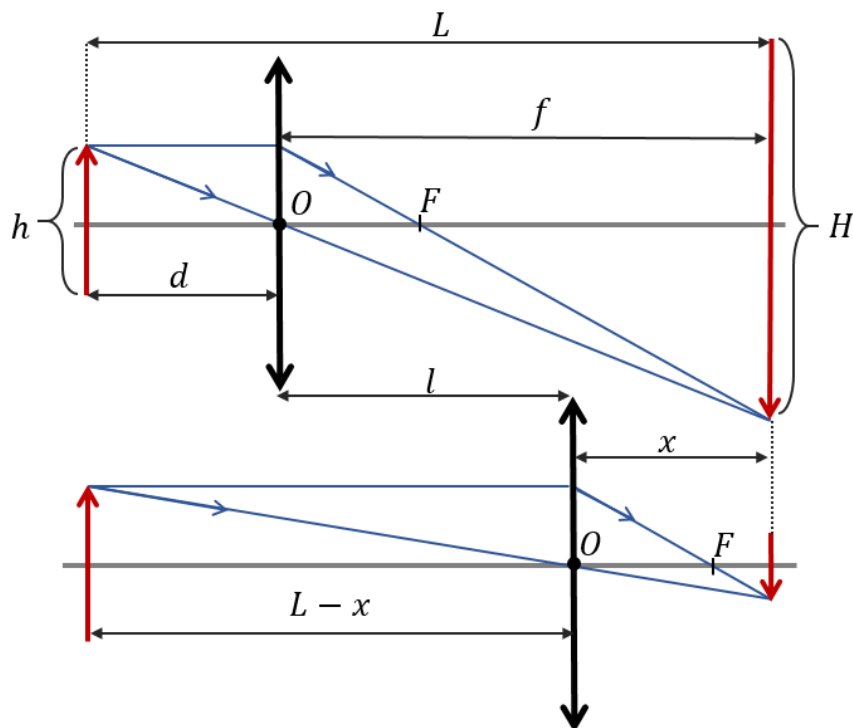


Рис. 5. Схема определения фокусного расстояния собирающей линзы

Таким образом, для определения фокусного расстояния линзы

$$F = \frac{L^2 - l^2}{4L} \quad (6)$$

достаточно измерить расстояние L между предметом и экраном, а также расстояние l между двумя положениями линзы, при которых на экране видны чёткие изображения.

Описанный способ определения фокусного расстояния линзы является наиболее точным и применимым как для тонких, так и для толстых линз. В отличие от первого способа, во втором методе измеряют не расстояния до линзы, а её перемещение, что не требует знания положения оптического центра линзы.

Способ 3. По расстоянию до экрана при совмещении увеличенного и уменьшенного изображений

Если при проведении измерений вторым способом уменьшать расстояние L между объектом и экраном, то оба положения линзы, дающие чёткие изображения, будут сближаться. И при $L = 4F$ сольются друг с другом, $l = 0$. Найдя это положение, можно определить фокусное расстояние:

$$F = \frac{L}{4} = \frac{d}{2}. \quad (7)$$

Однако, визуально различить случаи, в которых при перемещении линзы будут наблюдаться только одно изображение или два близко расположенных, довольно затруднительно. Поэтому при измерениях, проводимых указанным способом, возможны существенные погрешности.

Способ 4. По линейному увеличению изображения и расстоянию до линзы

С учётом (2) равенство (4) принимает вид

$$\Gamma = \frac{F}{d - F}.$$

Откуда для вычисления фокусного расстояния линзы получаем формулу

$$F = \frac{d\Gamma}{1 + \Gamma}. \quad (8)$$

Обратно, зная фокусное расстояние линзы, расстояние до линзы и размер изображения, возможно определить размер предмета:

$$h = \frac{H}{F}(d - F). \quad (9)$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ ТОНКОЙ РАССЕЙВАЮЩЕЙ ЛИНЗЫ

Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы затруднено тем, что изображение предмета получается мнимым (при действительном источнике, табл. 2), и поэтому не может быть получено на экране. Для того, чтобы его можно было наблюдать, изображение на экране должно быть действительным. Тогда, согласно таблице 2, предмет для рассеивающей линзы должен быть, во-первых, мнимым и, во-вторых, находиться от линзы на расстоянии, меньшем фокусного расстояния рассеивающей линзы. Этого можно добиться, если воспользоваться собирающей линзой, оптическая сила которой больше абсолютного значения оптической силы рассеивающей линзы.

Сначала, с помощью собирающей линзы L_1 , получают на экране действительное изображение S_1 предмета S (рис. 6). Затем, между экраном и линзой L_1 , размещают рассеивающую линзу L_2 . Изображения предмета на прежнем месте уже не будет, оно переместится из точки S_1 в S_2 на более далёкое расстояние от собирающей линзы из-за рассеивания линзой L_2 .

Изображение S_1 становится «источником» для рассеивающей линзы L_2 . Последнюю устанавливают таким образом, чтобы для неё «источник» S_1 являлся мнимым ($d_2 < 0$, предмет находится правее линзы в пространстве изображений) и выполнялось условие $|F_2| > |d_2|$. В этом случае, согласно таблице 2, изображение S_2 мнимого «источника» S_1 будет действительным. Оно является результатом пересечения лучей, ход которых изображен на рис. 7.

Применение такой оптической системы позволяет определить фокусное расстояние рассеивающей линзы по результатам измерения расстояний от рассеивающей линзы до точек S_1 и S_2 (рис. 6). Формула тонкой линзы (2) для L_2 принимает вид

$$\frac{1}{F_2} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2}, \quad (10)$$

причём $F_2 < 0$ и $d_2 < 0$.

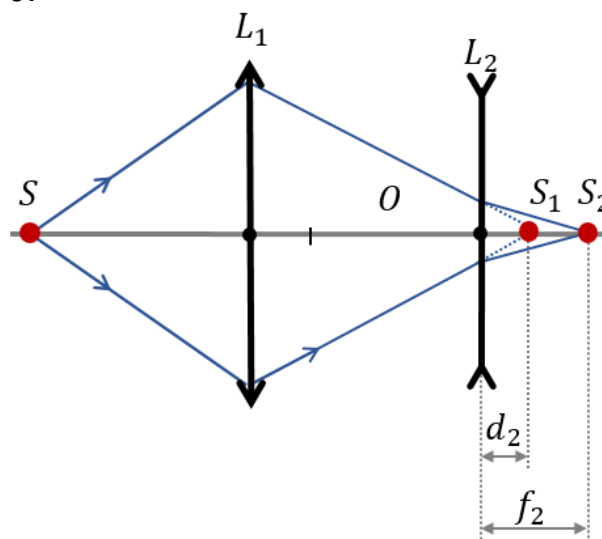


Рис. 6. Схема определения фокусного расстояния рассеивающей линзы

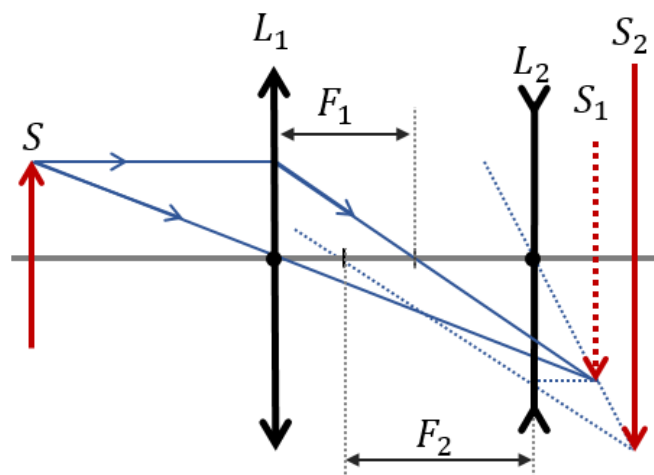



Рис. 7. Построение изображения в системе из двух линз

II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Выполнение лабораторной работы происходит по вариантам и поэтапно.

Подготовка к работе

Выберите вариант выполнения работы из раскрывающегося списка (группу вариантов, которая содержит ваш номер). Подтвердите свой выбор, нажав .

ЭТАП 0. Начало работы

Ознакомьтесь с информационной панелью. В основном окне программы справа расположена панель с кнопками управления. Изучите их назначение.

Установка состоит из оптической скамьи, вдоль которой могут перемещаться собирающая и рассеивающая линзы и экран для наблюдения изображения. Перемещения в программе будут доступны на втором и третьем этапах. Над столом расположен монитор для увеличенного дублирования картины на экране в определённом масштабе.

Предварительно линзы расположены на полке над столом рядом с указателями:



На скамье стационарно установлен источник света (лампа накаливания) в защитном кожухе. В передней части кожуха есть диафрагма с вырезом в форме стрелки (предмет, изображение которого формируется линзами на белом экране). В корпусе источника перед диафрагмой размещена линза малой оптической силы. Экспериментальная установка позволяет формировать на экране чёткое изображение стрелки и нити накала лампы.

Отсчёт расстояний вдоль скамьи (координат) ведётся от прорези со стрелкой. Расстояние определяется по шкале, лежащей на столе перед скамьей, и автоматически отображается в сантиметрах над объектами (линзами и экраном).

При работе с изображением стрелки следует использовать формулу тонкой линзы (2). Если предметом является нить накала лампы, уравнение тонкой линзы с поправками на расположение лампы накаливания и радиус кривизны линзы внутри корпуса источника, принимает вид:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d + 30} + \frac{1}{f}, \quad (11)$$

где все величины записаны в сантиметрах.

ЭТАП 1. Подготовка установки к работе

Наведите курсор мыши на сетевой шнур блока питания источника света. Нажатием левой кнопки мыши, подсоедините блок питания к сети. На экране появится световое пятно (изображение). Также подсвечен профиль прорези в диафрагме источника (стрелка). Убедитесь в этом. На мониторе над столом продублировано изображение на экране.

ЭТАП 2. Работа с собирающей линзой

Экран доступен для передвижения. Убедитесь в этом. При наведении курсора, над экраном отображается расстояние от источника (стрелки) в сантиметрах.

УПРАЖНЕНИЕ 1

РАБОТА БЕЗ ЛИНЗЫ

Передвигая экран вдоль скамьи, понаблюдайте за изменением его освещённости. Определите положение экрана, при котором формируется чёткое изображение стрелки. Укажите в отчёте тип полученного изображения: прямое / перевёрнутое, увеличенное / уменьшенное / равное.

Наведите курсор мыши на собирающую линзу. Двойным щелчком левой кнопки мыши поместите линзу на скамью. Над линзой указано расстояние от источника в сантиметрах.

Передвигая экран и линзу вдоль скамьи, найдите чёткие увеличенное и уменьшенное изображения стрелки, чёткое изображение нити накала.

Экран доступен для передвижения. Убедитесь в этом. При наведении курсора, над экраном отображается расстояние от источника (стрелки) в сантиметрах.

УПРАЖНЕНИЕ 2

ОЦЕНКА ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ СОБИРАЮЩЕЙ ЛИНЗЫ

Установите экран как можно дальше от источника. Расположите линзу вплотную к экрану. Отодвигая линзу от экрана, получите на нём чёткое изображение стрелки. Если не удастся этого достичь, сдвиньте экран на доли сантиметра. Укажите в отчёте тип полученного изображения. Запишите координаты собирающей линзы x_C и экрана $x_Э$.

Если бы от источника распространялся параллельный пучок лучей (рис. 1), то собирающая линза сфокусировала бы их на расстоянии, равном F . Так как в действительности пучок лучей расходится, расстояние между линзой и экраном при данном расположении немного больше фокусного:

$$x_Э - x_C > F. \quad (12)$$

Неравенство (12) позволяет оценить верхний предел величины F . Запишите его в отчёт как рабочую формулу в упражнении 2. Вычислите разность и запишите её в таблицу в отчёте. Данная оценка необходима для дальнейшей работы.

УПРАЖНЕНИЕ 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ СОБИРАЮЩЕЙ ЛИНЗЫ

Способ 1.

Установите собирающую линзу на расстоянии, определённом в упражнении 1 (или большем на доли сантиметра), от источника. В этом случае линза располагается так, что расстояние d больше предполагаемого фокусного F , но меньше $2F$ (табл. 1). Передвигая экран вдоль скамьи, получите чёткое изображение предмета (стрелки). Если оно не наблюдается, сместите линзу дальше от источника на пару сантиметров.

Определите тип изображения. Запишите в отчёт координаты линзы x_C и экрана $x_Э$.

Сместите линзу примерно на сантиметр дальше от источника. Пододвигая экран ближе, вновь получите чёткое изображение стрелки. Зафиксируйте x_C и $x_Э$ в отчёте. Сдвиньте линзу ещё на сантиметр вдоль скамьи и добейтесь резкой картины на экране. Запишите координаты линзы и экрана.

Все полученные изображения должны быть одного типа.

Оставив экран в его положении, смещайте линзу ещё дальше от источника. Появится второе чёткое изображение стрелки для данного положения экрана. Определите его тип. Запишите в отчёт координаты линзы и экрана.

Сместите линзу приблизительно на сантиметр дальше вдоль скамьи. Перемещая теперь экран от источника, получите чёткое изображение стрелки того же типа. Зафиксируйте x_C и $x_Э$ в отчёте. Сдвиньте линзу ещё и добейтесь резкой картины на экране. Запишите координаты линзы и экрана.

Подставив $d = x_C$ и $f = x_Э - x_C$ в выражение (5), запишите результат в отчёт как рабочую формулу в этом упражнении. Вычислите для каждого положения линзы фокусное расстояние. Заполните соответствующий столбец таблицы. В последней ячейке столбца укажите среднее значение.

Способ 2.

Расположите экран на правом конце скамьи, а линзу вблизи экрана. Отодвигая линзу от экрана, зафиксируйте её положение вначале при чётком уменьшенном изображении стрелки x_{C1} , затем при чётком увеличенном x_{C2} . Запишите координаты линзы и экрана в отчёт. Сместите экран примерно на 10 см. Вновь добейтесь чётких изображений стрелки при двух положениях линзы, при фиксированном положении экрана. Повторите опыт ещё раз.

В формулу (6) подставьте $L = x_Э$, $l = x_{C1} - x_{C2}$, упростите и запишите выражение как рабочую формулу данного упражнения в отчёт. Вычислите для каждого положения линзы фокусное расстояние. Заполните

соответствующий столбец таблицы. В последней ячейке столбца запишите среднее значение.

Способ 3.

По результатам способа 2 убедитесь, что два положения линзы (с увеличенным и уменьшенным изображениями) становятся ближе друг к другу при уменьшении расстояния между источником и экраном. Продолжайте приближать экран, наблюдая за этим эффектом. Найдите такое положение экрана, при котором эти два изображения сливаются в одно, а положения линз совпадают. Запишите координаты линзы и экрана в отчёт. Убедитесь, что при дальнейшем приближении экрана чётких изображений стрелки не наблюдается. Укажите это в отчёте.

Формулу (7) используйте дважды:

$$F_1 = \frac{d}{2}, F_2 = \frac{L}{4},$$

подставив $L = x_э$, $d = x_с$. Обе формулы укажите как рабочие в отчёте. Вычислите фокусное расстояние по ним и определите среднее значение.

Сравните значения фокусного расстояния собирающей линзы, определённые тремя способами. Выскажите мнение о том, какому из результатов следует больше доверять. Это значение или среднее значение результатов трёх способов запишите, как окончательный результат, с учётом погрешности в 5 %.

ЭТАП 3. Работа с собирающей и рассеивающей линзами

УПРАЖНЕНИЕ 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ РАССЕИВАЮЩЕЙ ЛИНЗЫ

Сфокусируйте на экране чёткое изображение стрелки с помощью одной собирающей линзы. При этом экран расположите не у края скамьи, так как рассеивающая линза будет отодвигать изображение. Запишите координату линзы $x_с$.

Изображение стрелки остается резким при небольших смещениях экрана. Не двигая линзу, зафиксируйте в отчёте диапазон координат экрана, при которых картина остается чёткой. Старайтесь указать диапазон как можно уже и точнее. Определите середину этого диапазона, обозначив её $x_{э1}$.

Наведите курсор мыши на рассеивающую линзу. Двойным щелчком левой кнопки мыши поместите её на скамью. Над линзой будет указано расстояние от источника в сантиметрах. Рассеивающая линза располагается между собирающей и экраном.

Отодвигая экран от источника и перемещая рассеивающую линзу, получите чёткое изображение стрелки. Рассеивающую линзу следует располагать вблизи предыдущего месторасположения экрана. Запишите в отчёт

координаты рассеивающей линзы x_p . Не передвигая линз, зафиксируйте в отчёте диапазон координат экрана, при которых картина остается чёткой. Определите середину этого диапазона, обозначив её $x_{э2}$.

Уберите рассеивающую линзу на полку. Сместите собирающую линзу. Повторите опыт ещё два раза.

Выполните подстановку $d_2 = -(x_{э1} - x_p)$ и $f_2 = x_{э2} - x_p$ в выражение (10). Упростите его и запишите как рабочую формулу в упражнении 4. Для каждого положения линзы рассчитайте фокусное расстояние. Заполните соответствующий столбец таблицы. В последней ячейке столбца запишите среднее значение.

Упражнение 5

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ ПО НОМЕРУ ВАРИАНТА РАБОТЫ

Варианты 1, 11, 21, 31, 41. *Определить фокусное расстояние собирающей линзы по линейному увеличению и расстоянию до линзы в случае увеличенного изображения стрелки.*

Определите истинный размер прорези в диафрагме (стрелки) в относительных единицах. Для этого разместите на скамье только собирающую линзу. Повторите процедуру, описанную в упражнении 3, способах 2 и 3: найдите положение экрана, при котором увеличенное чёткое изображение сливается с уменьшенным. При меньших расстояниях между источником и экраном, чётких изображений не должно наблюдаться вовсе. При таком расположении линзы и экрана, посчитайте длину стрелки h на мониторе (в клетках и их долях). Зафиксируйте её в отчёте. Величина стрелки на экране равна фактическому размеру прорези в диафрагме, размер стрелки на мониторе h увеличен в некоторое число раз.

Сместите линзу ближе к источнику. Отодвигая экран, получите чёткое увеличенное изображение стрелки. Определите размер изображения H в клетках и их долях на мониторе, занесите его в отчёт вместе с координатой линзы x_c . Повторите дважды измерения, переставив линзу ещё ближе к источнику.

По формуле (3) вычислите линейное увеличение линзы для каждого её положения; формулу укажите в отчёте как рабочую. Используя выражение (8), рассчитайте фокусное расстояние, приняв $d = x_c$. Выражение (8) с заменой $d = x_c$ запишите в отчёт как рабочую формулу. Заполните соответствующий столбец таблицы. В последней ячейке столбца запишите среднее значение.

Варианты 2, 12, 22, 32, 42. *Определить фокусное расстояние собирающей линзы по линейному увеличению и расстоянию до линзы в случае уменьшенного изображения стрелки.*

Определите истинный размер прорези в диафрагме (стрелки) в относительных единицах. Для этого разместите на скамье только собирающую линзу. Повторите процедуру, описанную в упражнении 3,

способах 2 и 3: найдите положение экрана, при котором увеличенное чёткое изображение сливается с уменьшенным. При меньших расстояниях между источником и экраном, чётких изображений не должно наблюдаться вовсе. При таком расположении линзы и экрана, посчитайте длину стрелки h на мониторе (в клетках и их долях). Зафиксируйте её в отчёте. Величина стрелки на экране равна фактическому размеру прорези в диафрагме, размер стрелки на мониторе h увеличен в некоторое число раз.

Сместите линзу дальше от источника. Отодвигая экран, получите чёткое уменьшенное изображение стрелки. Определите размер изображения H в клетках и их долях на мониторе, занесите его в отчёт вместе с координатой линзы x_c . Повторите дважды измерения, переставив линзу ещё дальше от источника.

По формуле (3) вычислите линейное увеличение линзы для каждого её положения; формулу укажите в отчёте как рабочую. Используя выражение (8), рассчитайте фокусное расстояние, приняв $d = x_c$. Выражение (8) с заменой $d = x_c$ запишите в отчёт как рабочую формулу. Заполните соответствующий столбец таблицы. В последней ячейке столбца запишите среднее значение.

Варианты 3, 13, 23, 33, 43. *Определить фокусное расстояние собирающей линзы по линейному увеличению и расстоянию до линзы в случае уменьшенного и увеличенного изображений стрелки.*

Определите истинный размер прорези в диафрагме (стрелки) в относительных единицах. Для этого разместите на скамье только собирающую линзу. Повторите процедуру, описанную в упражнении 3, способах 2 и 3: найдите положение экрана, при котором увеличенное чёткое изображение сливается с уменьшенным. При меньших расстояниях между источником и экраном, чётких изображений не должно наблюдаться вовсе. При таком расположении линзы и экрана, посчитайте длину стрелки h на мониторе (в клетках и их долях). Зафиксируйте её в отчёте. Величина стрелки на экране равна фактическому размеру прорези в диафрагме, размер стрелки на мониторе h увеличен в некоторое число раз.

Сместите линзу дальше от источника. Отодвигая экран, получите чёткое уменьшенное изображение стрелки. Определите размер изображения H в клетках и их долях на мониторе, занесите его в отчёт вместе с координатой линзы x_c . Повторите измерения для увеличенного изображения, переставив линзу значительно ближе к источнику.

По формуле (3) вычислите линейное увеличение линзы для каждого её положения; формулу укажите в отчёте как рабочую. Используя выражение (8), рассчитайте фокусное расстояние, приняв $d = x_c$. Выражение (8) с заменой $d = x_c$ запишите в отчёт как рабочую формулу. Заполните соответствующий столбец таблицы. В последней ячейке столбца запишите среднее значение.

Одна строка таблицы останется незаполненной.

Варианты 4, 14, 24, 34, 44. *Определить фокусное расстояние собирающей линзы по расстояниям от диафрагмы и изображения нити накала до линзы.*

Разместите на скамье только собирающую линзу. Передвигая линзу и экран вдоль скамьи, получите резкое изображение нити накала лампы. Запишите в отчёт координаты линзы x_C и экрана $x_Э$. Найдите два других положения линзы и экрана с чётким изображением нити. Внесите в отчёт их координаты.

Из формулы (11) выразите фокусное расстояние. Подставив $d = x_C$, $f = x_Э - x_C$, упростите выражение и запишите его рабочую формулу. Вычислите для каждого положения линзы фокусное расстояние. Заполните соответствующий столбец таблицы. В последней ячейке столбца запишите среднее значение.

Варианты 5, 15, 25, 35, 45. *Определить линейный размер объекта (прорези в диафрагме) по размерам его увеличенного изображения, фокусному расстоянию и расстоянию от объекта до линзы.*

Разместите на скамье только собирающую линзу. Фокусное расстояние собирающей линзы найдено в упражнении 3. Укажите его в таблице отчёта. По таблице 1, рассчитайте область расположения линзы, в которой наблюдается увеличенное действительное изображение. Для трёх положений линзы из этой области, постройте чёткое изображение стрелки и запишите в отчёт длину стрелки на мониторе H в клетках и их долях, а также координату линзы x_C . Переведите H в сантиметры, считая, что ширина одной клетки равна 0,3 сантиметра.

Используя выражение (9), рассчитайте истинный размер изображения h в сантиметрах, подставив $d = x_C$. Выражение (9) с заменой $d = x_C$ запишите в отчёт как рабочую формулу. Заполните соответствующий столбец таблицы. В последней ячейке столбца запишите среднее значение.

Варианты 6, 16, 26, 36, 46. *Определить линейный размер объекта (прорези в диафрагме) по размерам его уменьшенного изображения, фокусному расстоянию и расстоянию от объекта до линзы.*

Разместите на скамье только собирающую линзу. Фокусное расстояние собирающей линзы найдено в упражнении 3. Укажите его в таблице отчёта. По таблице 1, рассчитайте область расположения линзы, в которой наблюдается уменьшенное действительное изображение. Для трёх положений линзы из этой области, постройте чёткое изображение стрелки и запишите в отчёт длину стрелки на мониторе H в клетках и их долях, а также координату линзы x_C . Переведите H в сантиметры, считая, что ширина одной клетки равна 0,3 сантиметра.

Используя выражение (9), рассчитайте истинный размер изображения h в сантиметрах, подставив $d = x_C$. Выражение (9) с заменой $d = x_C$ запишите в отчёт как рабочую формулу. Заполните соответствующий столбец таблицы. В последней ячейке столбца запишите среднее значение.

Варианты 7, 17, 27, 37, 47. *Определить линейный размер объекта (прорези в диафрагме) по размерам его увеличенного и уменьшенного изображений, фокусному расстоянию и расстоянию от объекта до линзы.*

Разместите на скамье только собирающую линзу. Фокусное расстояние собирающей линзы найдено в упражнении 3. Укажите его в таблице отчёта. По таблице 1, рассчитайте область расположения линзы, в которой наблюдается уменьшенное действительное изображение. Для одного положения линзы из этой области, постройте чёткое изображение стрелки и запишите в отчёт длину стрелки на мониторе H в клетках и их долях, а также координату линзы x_C . Повторите измерения для области с увеличенным изображением. Переведите H в сантиметры, считая, что ширина одной клетки равна 0,3 сантиметра.

Используя выражение (9), рассчитайте истинный размер изображения, подставив $d = x_C$. Выражение (9) с заменой $d = x_C$ запишите в отчёт как рабочую формулу. Заполните соответствующий столбец таблицы. В последней ячейке столбца запишите среднее значение.

Одна строка таблицы останется незаполненной.

Варианты 8, 18, 28, 38, 48. *Определить линейный размер объекта (нити накала) по размерам его изображения.*

Разместите на скамье только собирающую линзу. Для трёх положений линзы, постройте чёткое изображение нити накала и запишите в отчёт высоту нити на мониторе H в клетках и их долях, а также координаты линзы x_C и экрана $x_Э$. Переведите H в сантиметры, считая, что ширина одной клетки равна 0,125 сантиметра.

Используя формулы (3)–(4), выразите размер изображения h через H , d и f . Получившееся выражение запишите в отчёт как рабочую формулу, учитывая, что $d = x_C$, $f = x_Э - x_C$. Рассчитайте h в сантиметрах. Заполните соответствующий столбец таблицы. В последней ячейке столбца запишите среднее значение.

Варианты 9, 19, 29, 39, 49. *Определить линейный размер объекта (прорези в диафрагме) по размерам его изображения, формируемого оптической системы из двух линз.*

Повторите процедуру, описанную в упражнении 4: построение изображения от одной линзы и от двух линз. Занесите в отчёт данные x_C , $x_{Э1}$, x_P , $x_{Э2}$. Также определите длину изображения стрелки на мониторе H в клетках и их долях, формируемого системой из двух линз. Переведите H в сантиметры, считая, что ширина одной клетки равна 0,33 сантиметра.

Используя формулы (3)–(4), выразите размер изображения h через H , d и f . Для системы линз линейные увеличения перемножаются, поэтому сделайте замену

$$\Gamma = \frac{|f_1|}{|d_1|} \cdot \frac{|f_2|}{|d_2|}$$

Получившееся выражение запишите в отчёт как рабочую формулу, учитывая, что $d_1 = x_c$, $f_1 = x_{э1} - x_c$, $d_2 = -(x_{э1} - x_p)$ и $f_2 = x_{э2} - x_p$. Рассчитайте h в сантиметрах. Заполните соответствующий столбец таблицы. В последней ячейке столбца запишите среднее значение.

Варианты 10, 20, 30, 40, 50. *Определить линейный размер объекта (нити накала) по размерам его изображения, формируемого оптической системой из двух линз.*

Повторите процедуру, описанную в упражнении 4, для нити накала: построение изображения от одной линзы и от двух линз. Занесите в отчёт данные x_c , $x_{э1}$, x_p , $x_{э2}$. Также определите высоту изображения нити на мониторе H в клетках и их долях, формируемого системой из двух линз. Переведите H в сантиметры, считая, что ширина одной клетки равна 0,125 сантиметра.

Используя формулы (3)–(4), выразите размер изображения h через H , d и f . Для системы линз линейные увеличения перемножаются, поэтому сделайте замену

$$\Gamma = \frac{|f_1|}{|d_1|} \cdot \frac{|f_2|}{|d_2|}.$$

Получившееся выражение запишите в отчёт как рабочую формулу, учитывая, что $d_1 = x_c$, $f_1 = x_{э1} - x_c$, $d_2 = -(x_{э1} - x_p)$ и $f_2 = x_{э2} - x_p$. Рассчитайте h в сантиметрах. Заполните соответствующий столбец таблицы. В последней ячейке столбца запишите среднее значение.