

Лабораторная работа 3-02

ЗАКОНЫ ЛИНЗ И ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

В.А. Степанова

Цель работы

Изучение методов построения изображения в линзах, исходя из законов геометрической оптики, моделирование оптических систем, определение фокусных расстояний различных линз.

Теоретическое введение

Свет представляет собой сложное явление: в одних случаях он ведет себя как электромагнитная волна, в других – как поток особых частиц (фотонов). Следует отметить, что волновые и квантовые закономерности являются общими для большей части спектра электромагнитного излучения. В зависимости от длины волны на первый план выступают разные явления, разные методы исследования и разные практические применения. Круг явлений, в основе которых лежит волновая природа света, описывает волновая оптика. *Волновая оптика – это учение о физических явлениях, связанных с распространением коротких электромагнитных волн.*

Обнаружение волновой природы света и объяснение на ее основе прямолинейного характера распространения света явилось заметным достижением физики XIX века и произошло благодаря усилиям выдающихся физиков того времени – Юнга, Френеля, Араго, Малюса многих других. *Прямолинейное распространение света реализуется в обычно наблюдаемой ситуации, когда длина световой волны мала по сравнению с размерами какого-либо рассматриваемого участка волнового фронта.* При этом условии волновой характер света практически не проявляется, и можно рассматривать только лучи света. *Световым лучом называют линию, вдоль которой распространяется энергия, переносимая световой волной.*

Раздел оптики, в котором рассматривают прохождение и преобразование световых лучей в различных средах, называется геометрической или лучевой оптикой. Геометрическая оптика занимается изучением хода световых лучей в однородных прозрачных средах. В рамках

геометрической оптики могут быть поняты простейшие оптические явления, например, возникновение теней и получение изображений в оптических приборах.

В основе геометрической оптики лежат четыре установленных опытным путем непрерывно связанных друг с другом закона, определяющих ход световых лучей в различных условиях распространения света:

1. **Закон прямолинейного распространения света:** в однородной и изотропной среде свет распространяется прямолинейно.

2. **Закон независимости распространения световых лучей:** лучи при пересечении не возмущают друг друга, т. е. пересечения лучей не мешают каждому из них распространяться независимо друг от друга прямолинейно.

3. **Закон отражения света:** отраженный от границы раздела двух сред луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и нормалью, восстановленной в точке падения, при этом угол отражения β равен углу падения α (рис.2.1).

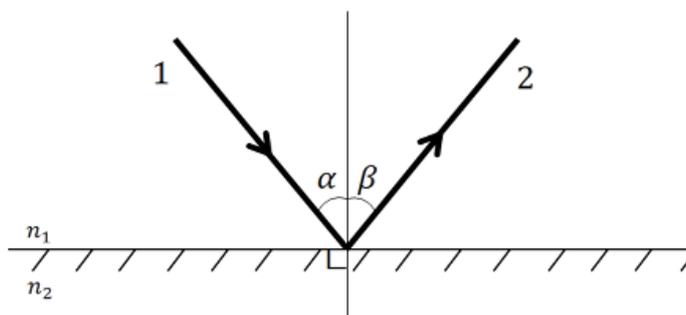


Рис. 2.1. Иллюстрация к закону отражения света.

4. **Закон преломления света:** преломленный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и нормалью, восстановленной в точке падения, при этом отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная, равная отношению показателя преломления второй среды, к показателю преломления первой среды

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21},$$

где n_{21} – относительный показатель преломления второй среды относительно первой, который равен отношению абсолютного показателя преломления n_2 второй среды к абсолютному показателю преломления n_1 первой среды

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}.$$

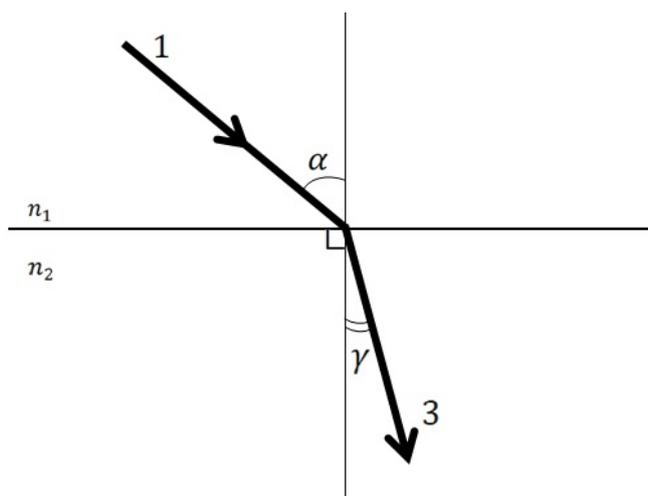


Рис. 2.2. Иллюстрация к закону преломления света (при условии $n_2 > n_1$).

Геометрические принципы получения оптических изображений основываются только на законах отражения и преломления света, полностью отвлекаясь от его физической природы. При этом оптическую длину светового луча следует считать положительной, когда он проходит в направлении распространения света, и отрицательной в противоположном случае. Элементами многих оптических устройств являются линзы.

Линзой называют прозрачное тело, ограниченное сферическими поверхностями, радиус, по крайней мере одной из которых, не должен быть бесконечным. Ход лучей в линзе зависит от радиуса кривизны линзы. Основными характеристиками линзы являются оптический центр, фокусы, фокальные плоскости. Пусть линза ограничена двумя сферическими поверхностями, центры кривизны которых C_1 и C_2 , а вершины сферических поверхностей O_1 и O_2 .

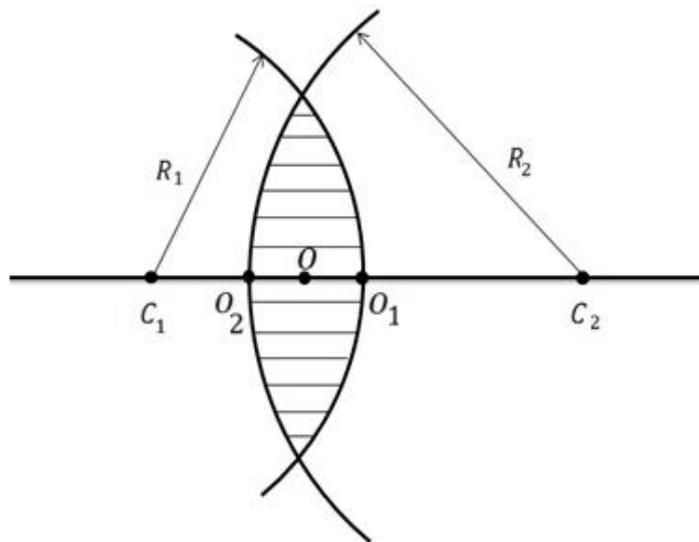


Рис. 2.3. Схематичное изображение двояковыпуклой линзы.

По внешней форме линзы делятся на *двояковыпуклые, плосковыпуклые, двояковогнутые, плосковогнутые, выпукло-вогнутые, вогнуто-выпуклые.*

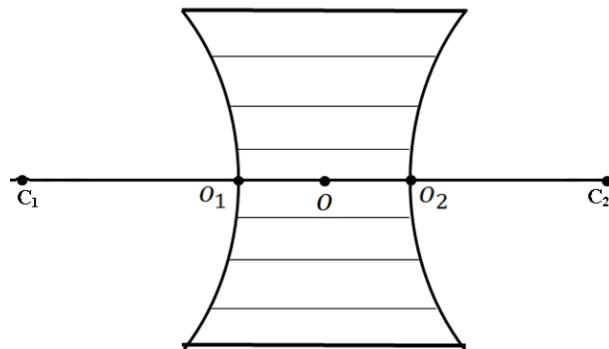


Рис. 2.4. Схематичное изображение двояковогнутой линзы.

Для тонкой линзы считают, что $O_1O_2 \ll C_1O_2$ и $O_1O_2 \ll C_2O_2$, т.е. практически точки O_1 и O_2 . слиты в одну точку O , которая называется *оптическим центром линзы*. Прямая, проходящая через оптический центр линзы, называется *оптической осью*. *Оптическая ось, проходящая через центры кривизны поверхностей линзы, называется главной оптической осью* (C_1C_2 , на рис. 2.3 и 2.4). Любая прямая, проходящая через оптический центр линзы, но не проходящая через центры кривизны поверхностей линзы, называется *побочной оптической осью*. Лучи, идущие через оптический центр, не преломляются (не изменяют своего направления). Лучи, параллельные главной оптической оси двояковыпуклой линзы, после прохождения через нее пересекают

главную оптическую ось в точке F (рис. 2.5), которая называется главным фокусом линзы, а расстояние от этой точки до линзы f есть главное фокусное расстояние. Постройте самостоятельно ход хотя бы двух лучей, падающих на линзу параллельно главной оптической оси (стеклянная линза расположена в воздухе, учтите это при построении), чтобы доказать, что расположенная в воздухе линза является собирающей, если она двояковыпуклая, и рассеивающей, если линза двояковогнутая.

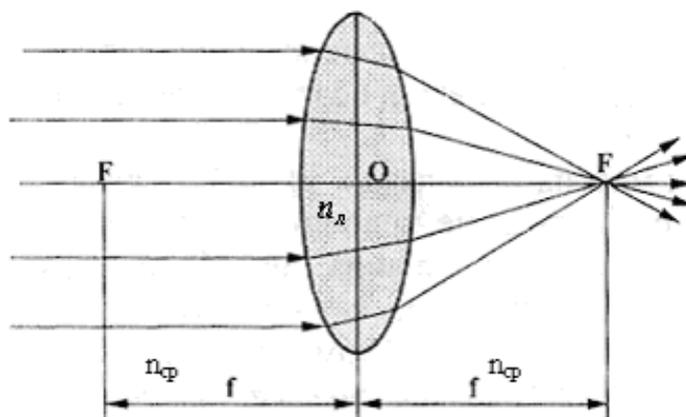


Рис.2.5. Ход лучей в стеклянной линзе, расположенной в воздухе.

По оптическим свойствам линзы делятся на *собирающие* и *рассеивающие*. Линза называется тонкой, если её толщина значительно меньше радиусов ограничивающих её сферических поверхностей.

Точка на главной оптической оси, где пересекаются вышедшие из линзы лучи (или их продолжения), если падающие лучи были параллельны главной оптической оси, называется *фокусом* F линзы, а расстояние от фокуса до оптического центра линзы – *фокусным расстоянием* f . Фокус линзы, лежащий со стороны падающих на нее лучей, называется *передним фокусом*, а фокус, лежащий за линзой – *задним фокусом*. Принято считать, что в собирающих линзах фокусы *действительные*, а в рассеивающих – *мнимые*.

Если лучи, вышедшие из линзы, отклоняются в сторону главной оптической оси, то такая линза называется *собирающей*; если лучи после линзы оказываются расходящимися, т.е. отклоняются в сторону от главной оптической оси, то такая линза называется *рассеивающей* (рис. 2.6):

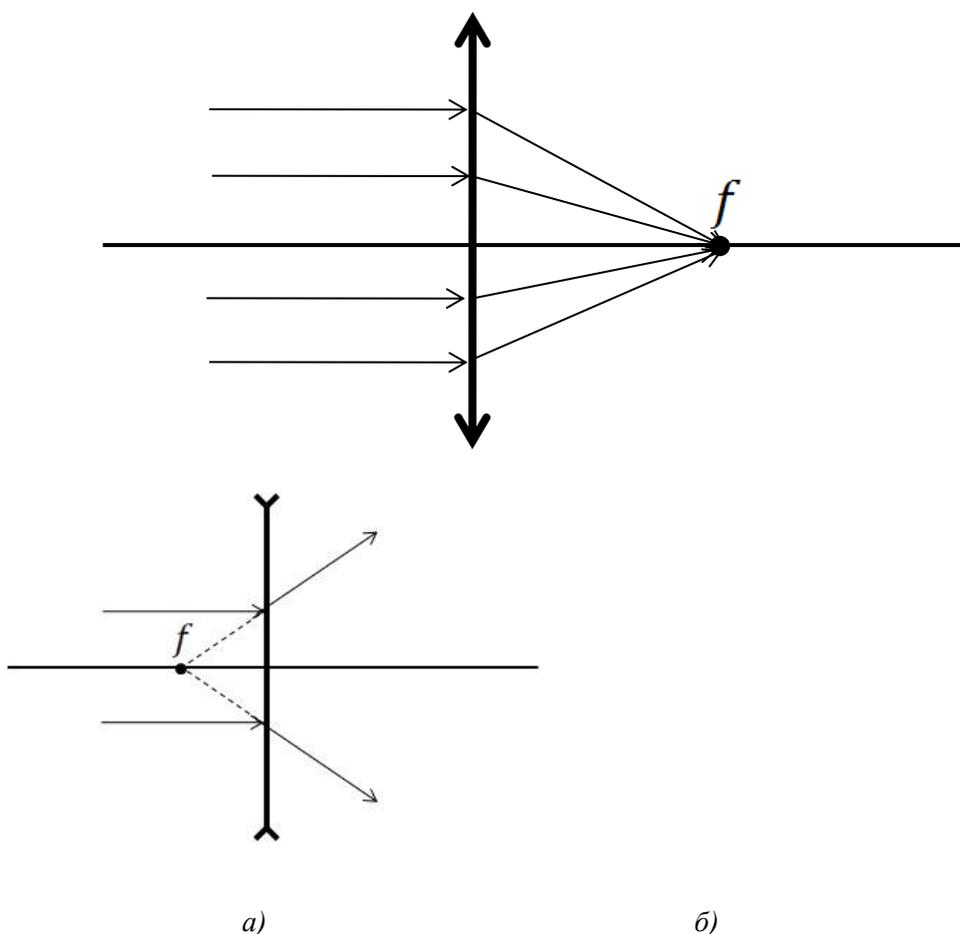


Рис.2.6. Ход лучей в тонких собирающей (а) и рассеивающей (б) линзах.

В геометрической оптике отрезки, отсчитываемые против хода лучей, принято считать отрицательными, а по ходу лучей – положительными. Расстояние (см. рис. 2.6 а) от линзы к фокусу отсчитывается по ходу луча, следовательно, в собирающей линзе фокус положителен. В рассеивающей линзе (рис. 2.6 б) фокусное расстояние откладывается в сторону, противоположную ходу лучей. Следовательно, в рассеивающей линзе фокус отрицателен.

Плоскости, проведенные через главные фокусы линзы перпендикулярно к главной оптической оси, называются *фокальными*. Параллельный пучок лучей, падающий на линзу под некоторым углом к главной оси (т.е. параллельно побочной оси), собирается не в фокусе (см. рис. 2.7), а в другой точке, лежащей в фокальной плоскости, и называемой *побочным фокусом*. Отметим, что при построении и использовании формулы линзы пучки считаются гомоцентрическими, а лучи параксиальными, т.е. идущими на небольших по сравнению с радиусами кривизны расстояниях от главной оптической оси.

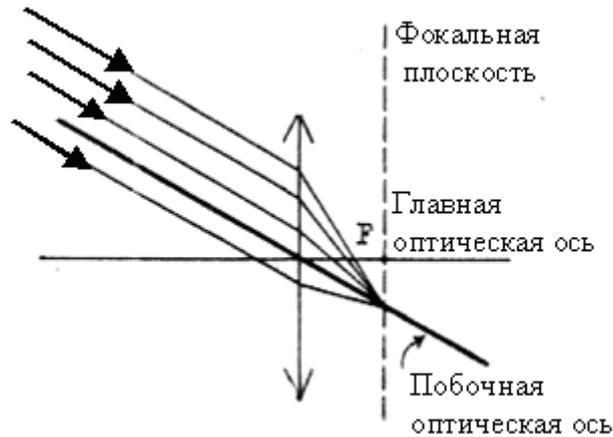


Рис. 2.7. Схематичное изображение фокальной плоскости.

Для нахождения побочного фокуса и определения хода луча, падающего на линзу под произвольным углом к главной оптической оси (например, луч 1 на рис. 2.8), проводят прямую, параллельную падающему лучу и проходящую через оптический центр линзы, то есть проводят *побочную оптическую ось* OO' . Точка пересечения P побочной оптической оси с фокальной плоскостью и есть побочный фокус, через который пройдет луч 1 после выхода из линзы. Главная оптическая ось у линзы одна, а побочных осей бесконечно много.

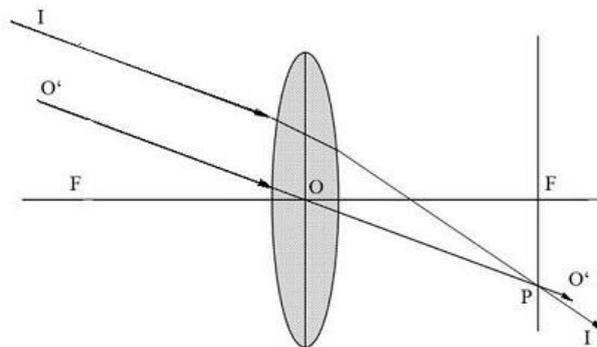


Рис. 2.8. Ход луча, падающего на линзу под произвольным углом к главной оптической оси

Для построения изображения в линзе необходимо использовать не менее двух лучей, ход которых известен. Обычно выбирают следующие лучи (рис. 2.9): луч I , параллельный главной оптической оси (после преломления в линзе он или его продолжение проходит через главный

фокус); луч 2, идущий через оптический центр (не изменяющий своего направления); луч 3, который проходит через фокус (после преломления идет параллельно главной оптической оси).

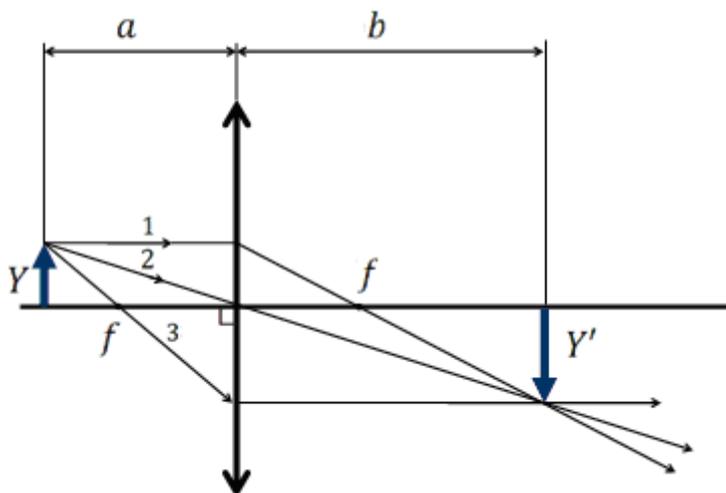


Рис. 2.9. Ход лучей, используемых для получения изображений в линзе.

Принцип построения хода лучей в линзе заключается в том, что от точки, изображение которой необходимо получить, проводят два луча до их пересечения или пересечения их продолжений. Точка пересечения и является изображением точки. Если точка находится на главной оптической оси, ее изображение располагается на той же оси. Приведем примеры построения хода лучей в собирающих линзах, поскольку они чаще встречаются на практике.

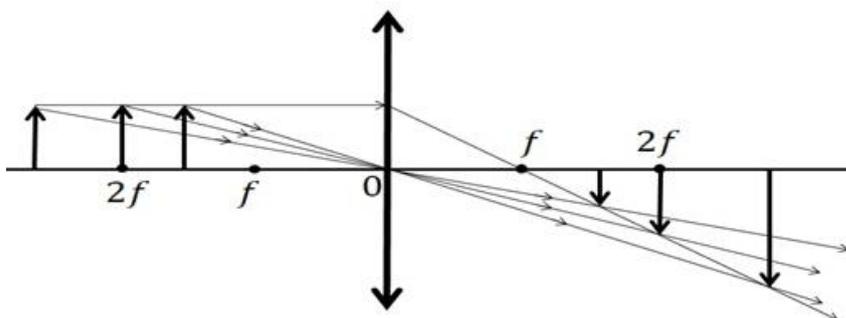


Рис. 2.10. Получение изображения предмета (стрелки), расположенного ближе, в или дальше, чем на расстоянии $2f$.

Ход луча 1 одинаков во всех трех случаях, а луч 2 идет или под большим углом к оси (если расстояние от центра линзы до предмета меньше $2f$, но больше f), или под меньшим (если расстояние больше $2f$). Указанные случаи расположения предмета дают следующие изображения:

предмет (стрелка) расположен между фокусом и двойным фокусом - изображение действительное, увеличенное и перевернутое;

предмет расположен от линзы на расстоянии большем, чем двойное фокусное расстояние $2f$ - изображение действительное, перевернутое, уменьшенное.

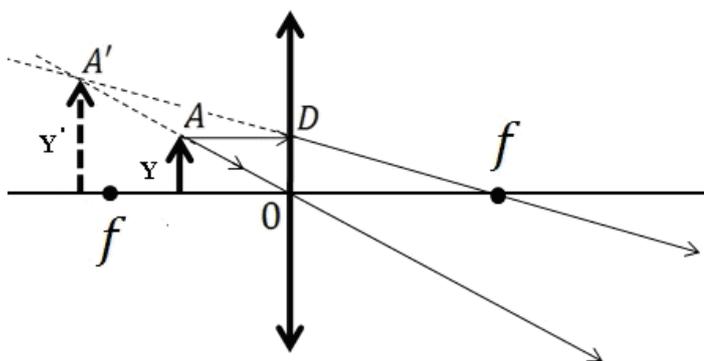


Рис. 2.11. Получение изображения предмета (стрелки), расположенного между фокусом и линзой.

В этом случае лучи не пересекаются, поэтому нужно строить пересечение их продолжений (см. пункт на рис. 2.11). Изображение Y' мнимое (пересекаются не лучи, а их продолжения), увеличенное, прямое.

Рассмотрим получение изображения в тонкой собирающей линзе на рис. 2.9. Для тонкой линзы выполняется соотношение, называемое *формула линзы*

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}, \quad (2.1)$$

где f – главное фокусное расстояние; a – расстояние от предмета до линзы; b – расстояние от линзы до изображения; если изображение мнимое (рис. 2.11), величине b придается знак минус.

Как было рассмотрено выше, с помощью линзы можно получить увеличенное или уменьшенное изображение предмета. *Линейное увеличение линзы K – это величина, равная отношению линейного размера изображения Y' к линейному размеру предмета Y :*

$$K = \frac{Y'}{Y}. \quad (2.2)$$

В геометрии в подобных треугольниках против равных углов лежат пропорциональные стороны; поэтому из рис. 2.9 следует, что $\frac{b}{a} = \frac{Y'}{Y}$ и тогда линейное увеличение можно определить как

$$K = \frac{b}{a}, \quad (2.3)$$

где a – расстояние от предмета до линзы; b – расстояние от линзы до изображения.

Для характеристики оптических свойств линзы введено понятие её оптической силы. *Оптическая сила линзы – это величина обратная её фокусному расстоянию.* Оптическая сила линзы, изготовленной из материала с показателем преломления n_l , с радиусами кривизны R_1 и R_2 , помещенной в среду с показателем преломления n_{cp} рассчитывается по формуле

$$D = \frac{1}{f} = \left(\frac{n_l}{n_{cp}} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right). \quad (2.4)$$

Если поверхность выпуклая, то $R > 0$, а если вогнутая, то $R < 0$. Если поверхность плоская, то её радиус кривизны $R = \infty$ и $\frac{1}{R} = 0$. Следовательно, оптическая сила линзы может быть положительной и отрицательной. Оптическая сила измеряется в диоптриях (дптр). Линзы с положительной оптической силой принято считать *собирающими*, с отрицательной – *рассеивающими*.

Оптическая сила системы линз, сложенных вплотную (как и другой оптической системы), равна алгебраической сумме оптических сил линз, входящих в эту систему

$$D_{\text{общ}} = \sum_i D_i. \quad (2.5)$$

Вывод: *благодаря свойству линз создавать различные оптические изображения, изменять направления лучей, преобразовывать расходящиеся пучки лучей в параллельные и наоборот, линзы являются основным элементом всех оптических приборов.*

Фокусное расстояние f собирающей линзы L можно определить, используя формулу (2.1), если удастся получить четкое изображение предмета на экране и измерить расстояния a и b (см. рис.2.9). Неточность этого метода, а также метода, основанного на экспериментальной оценке размеров предмета и его изображения, обусловлена невозможностью определения точного положения оптического центра линзы.

Более точный метод определения фокусного расстояния линзы - **метод Бесселя**. Суть его состоит в следующем. Если расстояние между предметом и экраном больше четырех фокусных расстояний линзы, то, перемещая собирающую линзу, можно найти для нее такие положения 1 и 2 (рис. 2.12), при которых на экране получается два четких изображения предмета: одно увеличенное Y'_1 (линза находится в положении 1), другое уменьшенное Y'_2 (линза находится в положении 2).

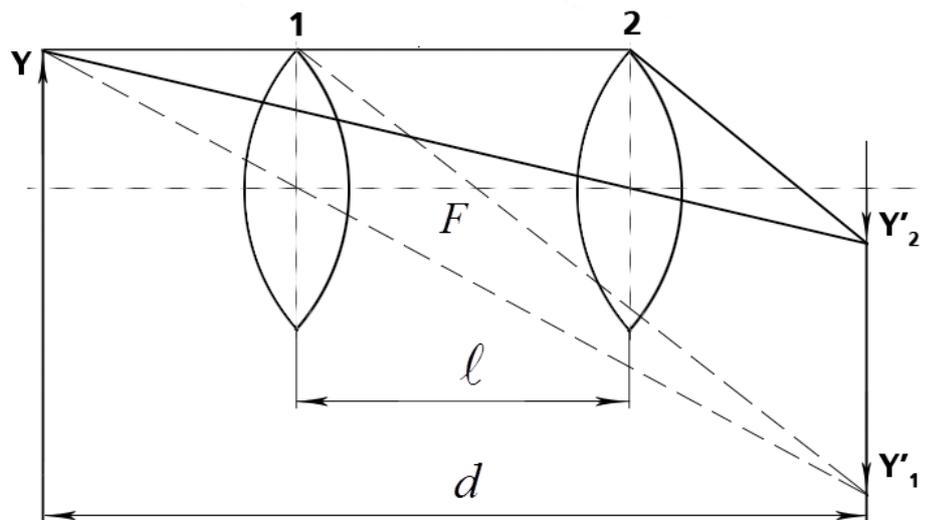


Рис. 2.12. Схема определения фокусного расстояния методом Бесселя.

Принимая во внимание обозначения на рис. 2.12, по формуле (2.1) для обоих положений линзы, находим выражение для фокусного расстояния:

$$f = \frac{d^2 - 1^2}{4d} \quad (2.6)$$

Другой характеристикой линзы является понятие её *линейного увеличения*.

По рис. 2.9 видно (из подобия прямоугольных треугольников), что отношение размеров предмета y к размерам изображения y' равно отношению расстояния от предмета до линзы к расстоянию от линзы до изображения (коэффициент линейного увеличения):

$$K = \frac{y}{y'} = \frac{a}{b} \quad (2.7)$$

С учетом (2.1) равенство (2.7) имеет вид:

$$K = \frac{y}{y'} = \frac{f}{b-f}, \quad (2.8)$$

откуда для вычисления фокусного расстояния линзы получаем формулу:

$$f = b \frac{y}{y + y'} \quad (2.9)$$

Этот метод называется *методом Аббе*.

Поскольку рассеивающая линза дает мнимое, уменьшенное изображение, то для определения фокусного расстояния рассеивающей линзы, проводят измерения с системой линз, сочетающей в себе собирающую и рассеивающую линзы.

Формула для расчета фокусного расстояния рассеивающей линзы:

$$f = \frac{ab}{a-b} \quad (2.10)$$

Знак “минус” у расстояния от линзы до изображения b означает, что изображение получается по одну сторону с предметом и построено на продолжении лучей, расходящегося пучка, вышедшего из рассеивающей линзы.

С помощью набора собирающих и рассеивающих линз с различными фокусными расстояниями, взаимными расположениями их относительно друг друга, можно смоделировать более сложные оптические системы.

На рис. 2.13 представлена схема проектора, служащая для получения изображения рисунков (слайдов) на экране.

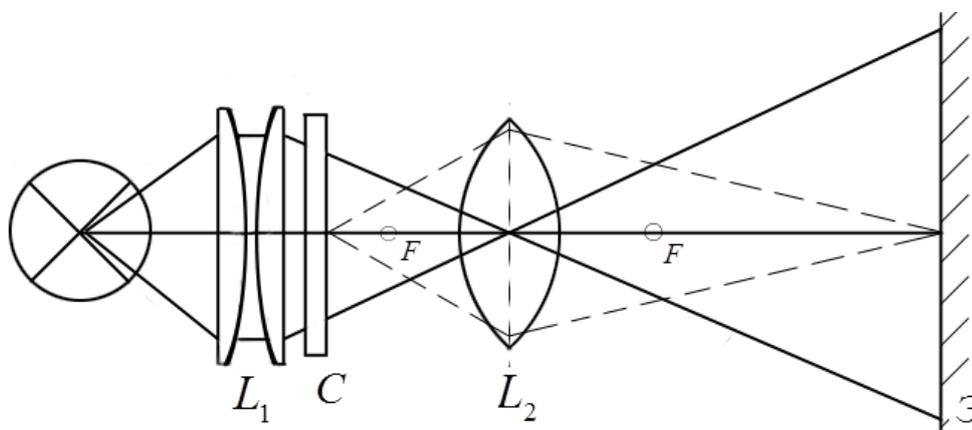


Рис. 2.13. Схема проектора.

Слева располагается осветитель, лучи от которого, попадают на конденсор (устройство из плосковыпуклых линз L_1). За ним расположен слайд C , который находится на расстоянии большем фокусного расстояния последующей собирающей линзы L_2 . Далее, на расстоянии много большем по сравнению с фокусным расстоянием линзы L_2 , помещается экран \mathcal{E} , на котором получается увеличенное изображение слайда. При фиксированном расстоянии от линзы L_2 до экрана, можно рассчитать коэффициент увеличения полученной оптической системы по формуле (2.8).

На рис. 2.14 представлена схема оптического устройства – микроскопа.

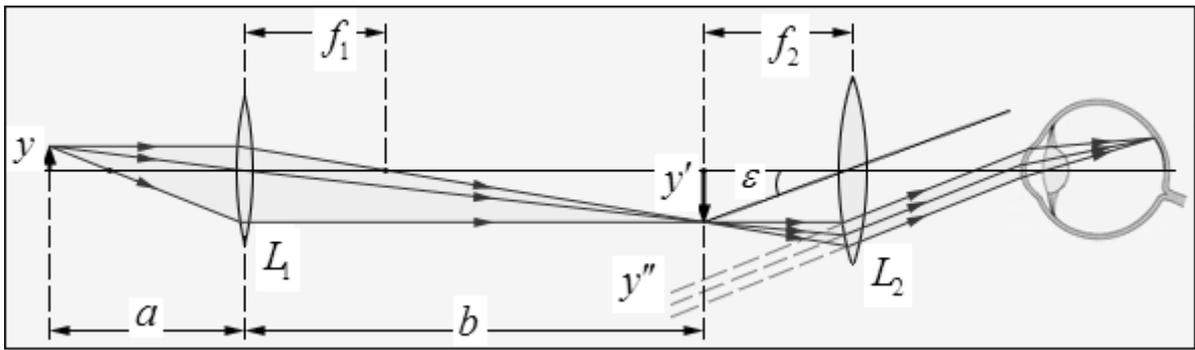


Рис. 2.14. Оптическая схема микроскопа.

Увеличение небольших предметов y получается, если предмет расположить перед собирающей линзой объектива L_1 . Тогда полученное изображение y' , будет являться предметом относительно собирающей линзы окуляра L_2 . Расстояние между короткофокусной линзой объектива и линзой окуляра значительно больше суммы их фокусных расстояний. По рисунку видно, что:

$$\frac{y'}{y} = \frac{b}{a} = \frac{b}{f_1} - 1, \quad (2.11)$$

где b – расстояние между положением линзы L_1 (с фокусным расстоянием f_1) и изображением, находящимся в фокусе линзы L_2 (с фокусным расстоянием f_2).

Изображение y' , создаваемое собирающей линзой окуляра для глаза наблюдателя будет увеличенным.

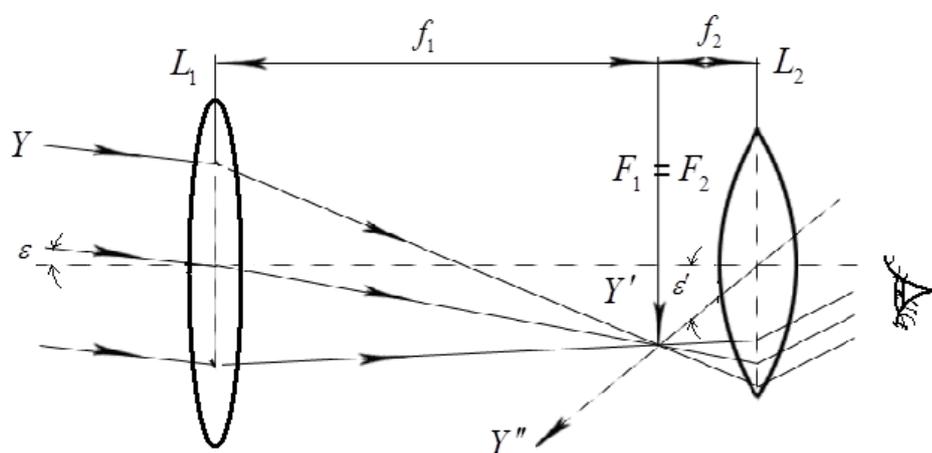


Рис. 2.15. Оптическая схема телескопа Кеплера.

На рис. 2.15 изображена схема телескопа Кеплера. Этот прибор предназначен для наблюдения предметов с малыми угловыми размерами, находящимися на большом расстоянии. Система состоит из длиннофокусной линзы объектива L_1 и короткофокусной линзы окуляра L_2 . Из рисунка видно, что изображение удаленного предмета получается линейным, и будет являться промежуточным предметом относительно собирающей линзы окуляра. Из законов построения в собирающих линзах получается коэффициент увеличения для этой системы:

$$K = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} = \frac{f_1}{f_2} \quad (2.12)$$

На рис. 2.16 приведена схема телескопа Галилея. Оптическая система состоит из длиннофокусной собирающей линзы - объектива L_1 и короткофокусной рассеивающей линзы - окуляра L_2 . Коэффициент углового увеличения равен:

$$K = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} = \frac{f_1}{|f_2|} \quad (2.13)$$

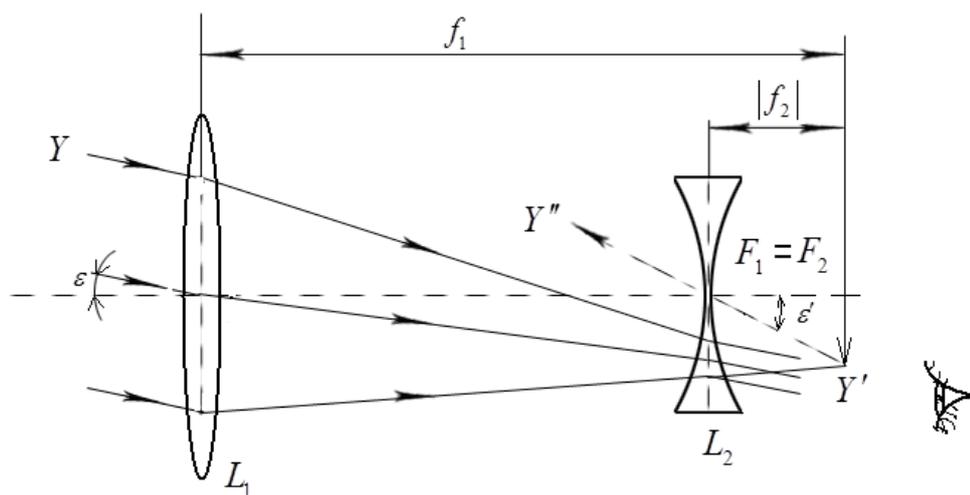


Рис. 2.16. Оптическая схема телескопа Галилея.

Описание экспериментальной установки

Общий вид экспериментальной установки показан на рис. 2.16.

В состав установки входят следующие приборы: набор собирающих и рассеивающих линз с различными фокусными расстояниями; осветитель с источником питания; оптическая скамья и экран.

Линзы в оправках, осветитель и экран из матового стекла могут перемещаться вдоль оптической скамьи. Расстояния между элементами рабочей схемы отсчитываются с помощью измерительной линейки, входящей в состав установки. Параметры измерительной линейки необходимо занести в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Технические характеристики приборов

Наименование прибора	Характеристика	Погрешность
Измерительная линейка	Цена деления	



Рис. 2.16. Общий вид установки.

Порядок выполнения работы

При выполнении работы необходимо строго соблюдать правила техники безопасности и охраны труда, установленные на рабочем месте студента.

Категорически запрещается самостоятельное включение источника питания осветителя.

Для удобства расчета фокусных расстояний предложенных линз различными методами опишем порядок выполнения работы для каждого метода. Будем считать, что все линзы закреплены в оправе так, что их оптические центры располагается на одной прямой, проходящей через середину оправы.

Опыт 1. Определение фокусного расстояния f собирающей линзы по измерению расстояний от предмета до линзы и от линзы до изображения

1. Установить собирающую линзу в оправе между экраном со стрелкой (предметом) и экраном из матового стекла. Включить осветитель.
2. Перемещая линзу по рейкам оптической скамьи, получить на экране изображение предмета (стрелки).
3. С помощью линейки измерить расстояние a от экрана с предметом (стрелкой) до середины оправы с линзой.
4. Измерить линейкой расстояние b от середины оправы с линзой до матового экрана, на котором получено четкое изображение предмета (стрелки).
5. Измерения провести не менее 5 раз. Результаты измерений занести в табл. 2.2.

Таблица 2.2.

Результаты измерений

№ п/п	a , см	b , см

Опыт 2. Определение фокусного расстояния f собирающей линзы по величине предмета (стрелки) y , величине его изображения на экране y' и по расстоянию b от линзы изображения (метод Аббе).

1. Установить собирающую линзу в оправе между направляющими рейками на оптической скамье. Включить осветитель.

2. Перемещая линзу вдоль направляющих реек, получить на экране увеличенное изображение предмета (стрелки).
3. Измерить расстояние от линзы до экрана с полученным увеличенным изображением b .
4. Измерить линейкой размер предмета (стрелки) y и размер его увеличенного изображения y' .
5. Опыт проделать не менее 5 раз. Результаты занести в табл. 2.3.

Таблица 2.3.

Результаты измерений

№ п/п	$b, \text{ см}$	$y, \text{ см}$	$y', \text{ см}$

Данная установка может быть использована для других методов определения фокусного расстояния f .

Опыт 3. Определение фокусного расстояния f собирающей линзы методом Бесселя.

1. Установить собирающую линзу в оправе (вплотную с предметом) между направляющими рейками на оптической скамье. Включить осветитель.
2. Перемещая линзу и предмет вдоль направляющих реек, получить на экране увеличенное обратное изображение предмета (стрелки).
3. Используя линейку, измерить расстояние от осветителя до экрана с изображением предмета d (см. обозначения на рис. 2.12).
4. Зафиксировать расстояние a от предмета до линзы, соответствующее положению I линзы (см. рис. 2.16).
5. Перемещая линзу и предмет вдоль оптической скамьи в направлении экрана, получить на экране уменьшенное обратное изображение предмета (стрелки).

6. Зафиксировать расстояние a' от предмета до линзы, соответствующее положению 2 линзы (см. рис. 2. 16).
7. Вычислить расстояние $l = a' - a$.
8. Опыт повторить не менее 5 раз. Результаты занести в табл. 2.4.

Таблица 2.4.

Результаты измерений

d , см	a , см	a' , см	l , см

Опыт 4. Определение фокусного расстояния f рассеивающей линзы с помощью собирающей линзы.

1. Установить на оптической скамье собирающую и вплотную к ней рассеивающую линзы. Включить осветитель.
2. Передвигая линзы и экран, получить четкое изображение предмета.
3. Измерить расстояние от предмета до экрана x_1 и от предмета до рассеивающей линзы x_2 .
4. Убрать рассеивающую линзу.
5. Перемещая собирающую линзу, получить четкое изображение предмета на экране.
6. Измерить расстояние от предмета до собирающей линзы x_3 .
7. Вычислить расстояния $a = x_1 - x_2$ и $b = x_1 - x_3$.
8. Опыт повторить не менее трех раз. Результаты занести в табл. 2.5.

Таблица 2.5.

Результаты измерений

x_1 , см	x_2 , см	x_3 , см	a , см	b , см

Обработка результатов эксперимента

Используя результаты измерений, внесенных в соответствующие каждому опыту таблицы, рассчитать величины фокусных расстояний f для каждого из приведенных в данной работе методов.

Для опыта 1 расчет провести согласно (2.1) по формуле: $\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$, откуда $f = \frac{ab}{a+b}$.

Для опыта 2 расчет провести по формуле (2.9): $f = b \frac{y}{y+y'}$.

Для опыта 3 расчет провести по формуле (2.6): $f = \frac{d^2 - l^2}{4d}$.

Для опыта 4 расчет провести по формуле (2.10): $f = \frac{ab}{a-b}$.

При расчете погрешностей определения фокусных расстояний надо иметь в виду, что эти величины являются косвенными, следовательно, их абсолютные погрешности определяются методом частных производных по переменным a, b, d, l, y и y' .

Для опыта 1 расчетная формула: $f = \frac{ab}{a+b}$.

Запишем частную производную от этого выражения по переменной a , принимая b постоянной:

$$\frac{\partial f}{\partial a} = \left(\frac{b}{a+b} \right)^2.$$

Запишем частную производную от выражения для f по переменной b , принимая a постоянной:

$$\frac{\partial f}{\partial b} = \left(\frac{a}{a+b} \right)^2.$$

Тогда абсолютная погрешность метода будет равна: $\Delta f = \frac{\partial f}{\partial a} \cdot \Delta a + \frac{\partial f}{\partial b} \cdot \Delta b$.

Для опыта 2 расчетная формула: $f = b \frac{y}{y+y'}$.

Абсолютную погрешность находим через частные производные по переменным b, y, y' :

$$\frac{\partial f}{\partial b} = \frac{y}{y+y'}, \quad \frac{\partial f}{\partial y} = \frac{b(y+y') - by}{(y+y')^2}, \quad \frac{\partial f}{\partial y'} = -\frac{by}{(y+y')^2}.$$

Тогда абсолютная погрешность метода будет равна:

$$\Delta f = \frac{\partial f}{\partial b} \cdot \Delta b + \frac{\partial f}{\partial y} \cdot \Delta y + \frac{\partial f}{\partial y'} \cdot \Delta y'.$$

По аналогии рассчитываются абсолютные погрешности определения f для других методов.

Надо принять во внимание, что значения величин a, b, y, y' – прямые измерения. Их абсолютные погрешности Δa находятся как сумма среднеквадратичной погрешности σ_a и приборной погрешности $(\Delta a)_{\text{приборная}}$. Приборная погрешность, как правило, указывается на измерительном приборе. Если на приборе не указана точность, то следует брать половину цены наименьшего деления измерительной линейки. Следовательно,

$$\Delta a = \sigma_a + (\Delta a)_{\text{приборная}},$$

где $\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum \Delta a_i^2}{n(n-1)}}$, Δa_i – абсолютная погрешность i -того измерения величины a , n – число измерений.

По аналогии рассчитываются погрешности прямых измерений других величин b, y, y' .

Относительная погрешность определения f рассчитывается по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta f}{f_{cp}} \cdot 100\% ,$$

где среднее значение $f_{cp} = \sum \frac{f_i}{n}$.

Окончательный результат записать в виде:

$$f = f_{cp} \pm \Delta f .$$

$$\delta = \frac{\Delta f}{f_{cp}} \cdot 100\% .$$

Библиографический список

а) основной

1. *Савельев И.В.* Курс общей физики. Т.4. М.: Астрель. АСТ. 2006. С.76-90.
2. *Капуткин Д.Е., Шустиков А.Г.* Физика. Обработка результатов измерений при выполнении лабораторных работ. М.: МИСиС. «Учеба». 2007. 108 с.

б) дополнительный

3. *Ландсберг Г.С.* Оптика: учеб. пособие для студ. физических спец. вузов. – 99е изд., перераб. и доп. – М.: Физматлит, 2003, 848 с.
4. *Трофимова Т.И.* Курс физики. М.: Высшая школа. 1994. 156с.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте и поясните основные законы геометрической оптики.
2. Что называют линзой? Дайте определение основных характеристик линзы (оптический центр, оптические оси, фокусы, фокальная плоскость), иллюстрируя ответ рисунками.

3. Покажите на рисунке, какие лучи используют для построения изображений в тонких линзах.
4. Постройте действительные (уменьшенное, увеличенное и неизменное по размеру) и мнимое изображения стрелки AB , расположенной своим основанием на главной оптической оси собирающей линзы.
5. Напишите формулу тонкой линзы, пояснив физический смысл величин в неё входящих, и дайте определение увеличения линзы.
6. За счет чего в данной работе возникают наибольшие погрешности и как это учитывается при расчете результатов?
7. Какова область применения различных линз и их сочетаний?