

Цель работы: изучить методы определения фокусных расстояний собирающей и рассеивающей линз.

Приборы и принадлежности: оптическая скамья, собирающая и рассеивающая линзы, лампа накаливания, щелевая диафрагма с сеткой, экран.

## ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ

*Оптическая система* представляет собой совокупность отражающих и преломляющих поверхностей, отделяющих друг от друга однородные среды. Оптическая система, образованная сферическими (в частности, плоскими) поверхностями, называется *центрированной*, если центры всех поверхностей лежат на одной прямой. Эту прямую называют *главной оптической осью* системы.

Простейшей центрированной оптической системой является *линза*. Она представляет собой прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями. В частном случае одна из поверхностей может быть плоской. Центры кривизны поверхностей  $O_1$

$O_2$   
и  $O$

$O_1$   
лежат на главной оптической оси (рис. 1,а,б). Точки пересечения поверхностей с главной оптической осью  $C_1$

$C_2$   
и  $C$

$C$

называются

*вершинами*

линзы. Расстояние между вершинами именуется

*толщиной*

линзы. Линза называется

*тонкой*

, если ее толщиной  $C$

1

$C$

2

можно пренебречь по сравнению с меньшим из радиусов кривизны  $O$

1

$C$

1

или  $O$

2

$C$

2

. Для таких линз можно считать, что вершины  $C$

1

и  $C$

2

сливаются в одну точку, называемую

*оптическим центром*

линзы. Прямая, проходящая через оптический центр линзы, называется

*побочной оптической осью*

.

а

б

Рис. 1. Формы линз: а – двояковыпуклая, б – двояковогнутая

Луч света, идущий вдоль главной или побочной оптической оси тонкой линзы, не испытывает преломления. Если на линзу падает пучок лучей, параллельных главной оптической оси, то после линзы он будет сходящимся или расходящимся. В первом случае линза называется *собирающей*, а во втором *рассеивающей*. Условные обозначения собирающей и рассеивающей линз и ход лучей в них приведены на рис. 2,а,б. Пучок лучей, параллельных главной оптической оси, прошедший собирающую линзу, собирается в точке на главной оптической оси, называемой *главным фокусом*

. Продолжения параллельных главной оптической оси лучей, прошедших рассеивающую линзу, пересекаются в лежащей перед линзой точке главной оптической оси, которая также называется *главным фокусом*.

Расстояние между оптическим центром линзы и главным фокусом называется *фокусным расстоянием*

линзы. Для собирающей линзы оно считается положительным, а для рассеивающей – отрицательным. Фокусное расстояние тонкой линзы может быть найдено по формуле:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \quad (1)$$

где  $n$  – показатель преломления линзы,  $n_0$  – показатель преломления среды, окружающей линзу,  $R_1$  и  $R_2$  – радиусы кривизны поверхностей линзы. Для выпуклой поверхности, то есть когда центр кривизны  $O$  лежит справа от вершины  $C$  ( $O$

1  
на рис. 1,а и  $O$

2  
на рис. 1,б), радиус кривизны нужно считать положительным. Для вогнутой поверхности, то есть когда центр кривизны  $O$  лежит слева от вершины  $C$  ( $O$

2  
на рис. 1,а и  $O$

1  
на рис. 1,б), радиус кривизны нужно считать отрицательным.

Плоскость, перпендикулярная к главной оптической оси и проходящая через главный фокус, называется *фокальной плоскостью* линзы. Любой параллельный пучок лучей после прохождения собирающей линзы соберется в точке, лежащей на пересечении фокальной плоскости и побочной оптической оси, параллельной пучку.

Рис. 3. Построение изображения предмета в собирающей линзе

Если светящийся предмет поместить на расстоянии  $d$  от оптического центра линзы, то его изображение получится на расстоянии

$f$

от него (рис. 3). Эти два расстояния связаны между собой соотношением:

$$(2)$$

Если предмет поместить на расстояние  $f$  от оптического центра линзы, то изображение получится на расстоянии  $d$  от него. Поэтому расстояния  $d$  и  $f$  называют сопряженными.

Определение фокусного расстояния собирающей линзы

Формула (2) может быть использована для определения фокусного расстояния собирающей линзы. Измерив расстояния  $d$  и  $f$ , можно найти фокусное расстояние:

(3)

Определить фокусное расстояние можно и другим способом. Так как лучи, проходящие через центр линзы, не испытывают преломления, треугольники  $OAB$  и  $OA'B'$  будут подобными (рис. 3). Следовательно:

(4)

где  $h$  – величина предмета  $|AB|$ ,  $H$  – величина изображения  $|A'B'|$ . Выражая отсюда  $d$  и подставляя его в формулу (3), получаем:

(5)

Оба описанных выше способа не лишены недостатков. Реальные линзы имеют конечную толщину. Принимая середину линзы за оптический центр и измеряя расстояния от нее, мы допускаем ошибку. На самом деле расстояния  $d$  и  $f$  нужно измерять от соответствующих главных плоскостей линзы, положение которых должно быть известно. Определить фокусное расстояние при неизвестном положении главных плоскостей можно методом Бесселя, в котором измеряются не расстояния до линзы, а ее

перемещение

$l$ .

Если расстояние  $L$  между предметом и экраном больше, чем  $4F$ , то всегда найдутся два таких положения линзы, при которых на экране получается отчетливое изображение предмета: в одном случае уменьшенное, в другом – увеличенное (рис. 4). Нетрудно увидеть, что формула (3) может быть записана в виде:

или . (6)

Приравнивая правые части равенств, получаем  $d_2=f_1$ . Так как

Рис. 4. Определение фокусного расстояния методом Бесселя

, (7)

найдем:

. (8)

Подставляя эти значения в формулу (6), окончательно получаем:

(9)

Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы

Определить описанными выше способами фокусное расстояние рассеивающей линзы невозможно, так как она не дает действительного изображения. Методы, применяемые в этом случае, обычно используют совокупное действие собирающей и рассеивающей линз.

Пусть точка  $B$  есть изображение светящейся точки  $A$ , полученное при помощи собирающей линзы  $L_1$  (рис. 5). Если между линзой

$L$

$L_1$  и точкой

$B$

поместить рассеивающую линзу

$L$

$L_2$

, то изображение светящейся точки

$A$

переместится в точку

$C$

. Вследствие принципа обратимости лучей света можно считать, что светящейся точкой является точка

$C$

, а точка

$B$   
является ее мнимым изображением. Принимая во внимание, что  
 $f$   
и  
 $F$   
в данном случае отрицательные (мнимые), формула (3) для их абсолютных значений принимает вид:

$$(10)$$

## ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Установка для измерения фокусных расстояний собирающей и рассеивающей линз приведена на рис. 6. На одном конце оптической скамьи 1 помещена щелевая диафрагма с сеткой 2, освещаемая электрической лампой 3. Вдоль скамьи на ползунках могут перемещаться собирающая линза 4 и экран 5. При измерении фокусного расстояния рассеивающей линзы 6 она помещается между собирающей линзой и экраном. Положения диафрагмы, линз и экрана определяется по линейке в нижней части оптической скамьи соответственно указателям на ползунках. Щелевое отверстие диафрагмы, центры линз и середина экрана должны находиться на одной горизонтальной прямой.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Определение фокусного расстояния собирающей линзы



Первый способ – по расстоянию предмета и его изображения от линзы

1. Поместив экран на достаточно большом расстоянии от предмета (диафрагмы с отверстием), поставить между ними собирающую линзу и передвигать ее до тех пор, пока на экране не получится отчетливое изображение отверстия и сетки в нем.
2. Измерить по шкале оптической скамьи расстояния между диафрагмой и линзой  $d$  и между экраном и линзой  $f$ .
3. Сместить линзу, снова получить отчетливое изображение отверстия и опять измерить  $d$  и  $f$ . Повторить измерения пять раз.
4. Рассчитать  $d_{\text{ср}}$  и  $f_{\text{ср}}$  и их погрешности.
5. По формуле 3 определить фокусное расстояние  $F$ . Найти погрешность фокусного расстояния.

Второй способ – по величине предмета и его изображения

1. Поставить собирающую линзу между экраном и диафрагмой так, чтобы на экране получилось сильно увеличенное отчетливое изображение отверстия и сетки в нем.
2. Измерить по миллиметровой шкале на экране горизонтальный размер изображения  $H$ , а по шкале оптической скамьи расстояние между экраном и линзой

$f$

.

3. Сместить линзу, вновь получить изображение и произвести измерения  $H$  и  $f$ . Повторить измерения пять раз.

4. Рассчитать  $H_{\text{ср}}$  и  $f_{\text{ср}}$  и их погрешности.

5. Принимая горизонтальный размер отверстия диафрагмы  $h = 20,0 \pm 0,5$  мм, по формуле 5 определить фокусное расстояние

$F$

. Найти погрешность фокусного расстояния.

Третий способ (Бесселя) – по перемещению линзы

1. Поместить экран на таком расстоянии  $L$  от диафрагмы, чтобы на экране при перемещении линзы получалось как увеличенное, так и уменьшенное изображение отверстия и сетки в нем. Измерить это расстояние. Принять  $\Delta$

$L$

$= 1$  мм.

2. Перемещая линзу, получить отчетливое увеличенное изображение отверстия диафрагмы и записать то деление шкалы оптической скамьи  $n_1$ , против которого находится указатель на ползунке линзы.

3. Передвинуть линзу и получить отчетливое уменьшенное изображение отверстия диафрагмы и записать новое положение линзы  $n_2$ .

4. Вычислить расстояние перемещения линзы  $l = n_1 - n_2$ .
5. Повторить измерения по пунктам 2-4 пять раз.
6. Рассчитать  $l_{\text{ср}}$  и ее погрешности.
7. По формуле 9 определить фокусное расстояние  $F$ . Найти погрешность определения фокусного расстояния.

## 2. Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы

1. Собирающую линзу, фокусное расстояние которой определено в предыдущих опытах, установить на оптическую скамью так, чтобы расстояние между линзой и диафрагмой было немного больше  $2F$ . Экран перемещать до получения немного уменьшенного отчетливого изображения отверстия диафрагмы. Записать положение

$n$

1  
экрана.

2. Рассеивающую линзу поместить между собирающей линзой и экраном. Отодвигая экран от линзы, получить на нем отчетливое изображение отверстия. Записать новое положение экрана.

3. Определить положение  $n_3$  линзы и вычислить  $d = n_2 - n_3$  и  $f = n_1 - n_3$ .

4. Сместить линзу, вновь получить отчетливое изображение на экране и определить  $d$  и  $f$ , повторив эти измерения пять раз.

5. Рассчитать  $d_{\text{ср}}$  и  $f_{\text{ср}}$  и их погрешности.

6. По формуле 10 определить фокусное расстояние  $F$ . Найти погрешность фокусного расстояния.

#### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Дать определение оптического центра, оптической оси, главных фокусов и фокальных плоскостей линзы.

2. Что такое оптическая сила линзы? В каких единицах она измеряется? Как связаны оптическая сила и фокусное расстояние линзы?

3. Какая линза называется тонкой? Чему равно фокусное расстояние тонкой линзы?

4. Какая линза называется собирающей, а какая – рассеивающей? Как зависят свойства линзы от свойств окружающей линзу среды?

5. В чем заключается определение фокусного расстояния методом Бесселя? Какими достоинствами обладает этот метод?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 2. М.: Наука, 1988. С. 117.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высш. школа, 1985. С. 307.