

Работа 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ СОБИРАЮЩЕЙ И РАССЕИВАЮЩЕЙ ЛИНЗ

Цель работы: определение фокусного расстояния линз с помощью формулы линзы

Введение

Линзой называют прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями.

В зависимости от того, как отклоняется параллельный пучок света, линзы делятся на собирающие и рассеивающие.

Собирающая линза, собирает падающие на нее параллельные лучи в одну точку за линзой, а рассеивающая линза рассеивает эти лучи таким образом, что их продолжения пересекаются в одной точке перед линзой (рис. 8.1, а и б). Точка F' , лежащая на главной оптической оси $O'O''$, называется задним главным фокусом линзы, а точка F - передним главным фокусом линзы.

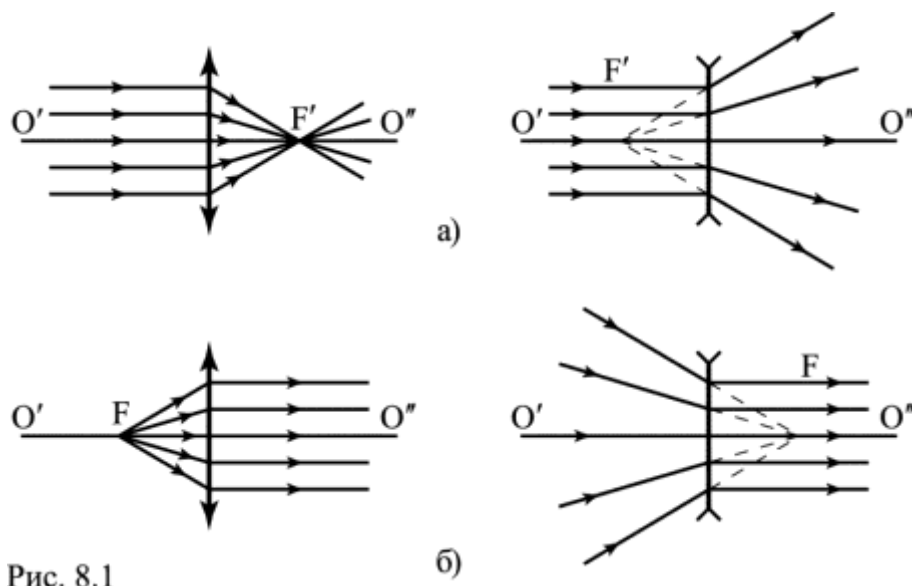


Рис. 8.1

Если показатели преломления оптических сред, находящихся по разные стороны от линзы, одинаковы, то точки F' и F расположены от линзы на одинаковом расстоянии. Это расстояние называется фокусным расстоянием линзы, его обозначают буквой F (той же буквой, что и фокусы).

Линзу называют тонкой, если ее толщина пренебрежимо мала по сравнению с радиусами кривизны поверхностей и расстоянием от предмета до линзы.

Расстояние d от предмета AB до линзы и расстояние f от линзы до изображения предмета $A'B'$ (рис. 8.2) связаны с фокусным расстоянием F соотношением, называемым формулой линзы:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}. \quad (8.1)$$

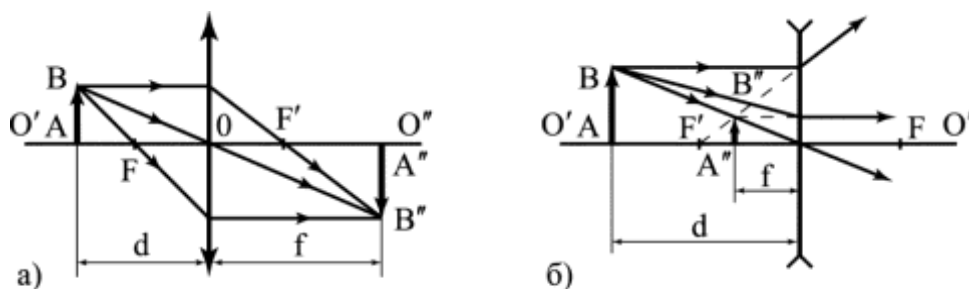


Рис. 8.2

Применяя формулу тонкой линзы (8.1), необходимо руководствоваться следующим правилом знаков:

Для собирающей линзой (её задний фокус действительный) перед слагаемым $\frac{1}{F}$ ставится знак «+».

Для рассеивающей линзы (её задний фокус мнимый) перед слагаемым $\frac{1}{F}$ ставится знак «-».

Перед слагаемым $\frac{1}{d}$ ставится знак «+».

Перед слагаемым $\frac{1}{f}$ ставится знак «+», если изображение действительное, и знак «-» в случае мнимого изображения

Собирающая линза дает мнимое изображение в том случае, когда предмет расположен между фокусом и линзой.

Рассеивающая линза дает только мнимое изображение предмета от его расположения относительно линзы.

Методика выполнения работы

Фокусное расстояние собирающей линзы можно определить двумя способами:

1) непосредственным использованием формулы и подстановкой в нее экспериментально измеренных величин d и f :

$$F = \frac{df}{d + f}; \quad (8.2)$$

2) пользуясь свойством собирающей линзы (при условии, что расстояние между предметом и экраном $L > 4F$) давать на экране два изображения предмета - увеличенное

и уменьшенное. Из рис. 8.3 видно, что собирающая линза дает четкое изображение предмета на экране при двух ее положениях, расстояние между которыми l . В этом случае фокусное расстояние связано с экспериментально измеряемыми величинами L и l соотношением:

$$F = \frac{L^2 - l^2}{4L}. \quad (8.3)$$

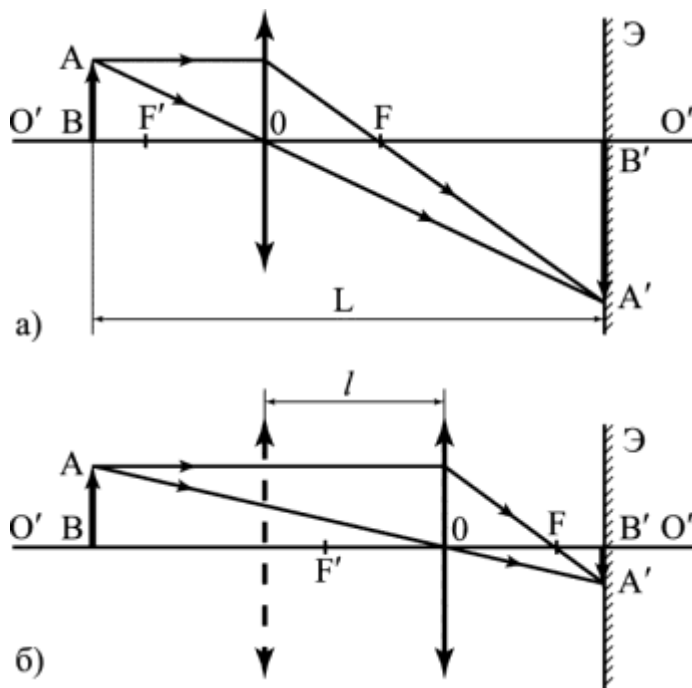


Рис. 8.3

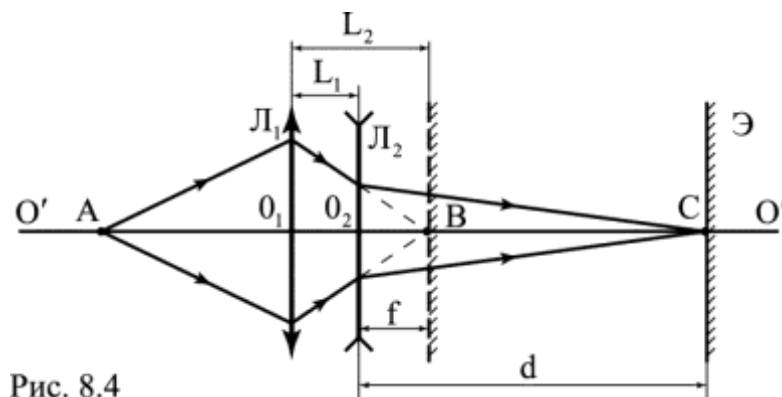


Рис. 8.4

Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы непосредственным применением формулы линзы невозможна, поскольку рассеивающая линза не может дать действительного изображения предмета на экране. Однако, эта задача может быть решена при одновременном использовании собирающей и рассеивающей линз, что видно из рисунка 8.4.

Собирающая линза L_1 дает на экране изображение В светящейся точки А, лежащей на главной оптической оси. Если между линзой и экраном поместить рассеивающую линзу

L_2 , то, отодвигая экран от рассеивающей линзы, можно получить новое изображение C светящейся точки на экране, который находится на расстоянии d от линзы L_2 . На основании принципа обратимости хода лучей в линзе можно утверждать, что если в точке C поместить светящуюся точку, то ее мнимое изображение получится в точке B . Согласно формуле рассеивающей линзы:

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = -\frac{1}{F}, \quad (8.4)$$

ее фокусное расстояние

$$F = \frac{df}{d - f}. \quad (8.5)$$

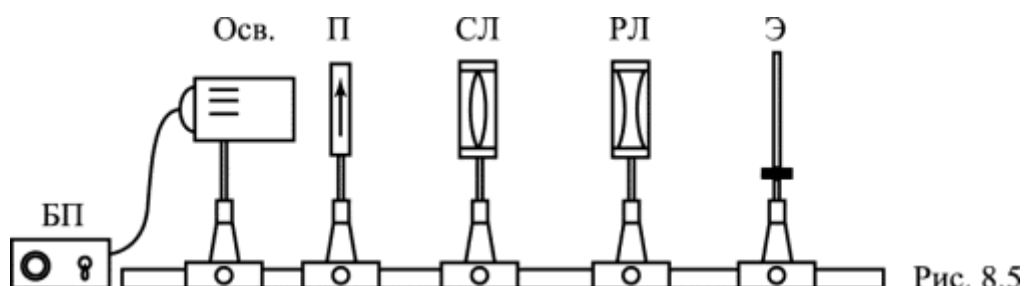


Рис. 8.5

Для проведения измерений используется оптическая установка, изображенная на рис. 8.5. Осветитель Осв., расположенный на оптической скамье, питается от блока питания БП, подключенного к сети. Свет от лампочки осветителя падает на матовую поверхность предмета (прорези), выполненного в виде стрелки (или кружочков) П. Светящаяся стрелка является предметом, изображение которого создается на экране Э с помощью собирающей линзы СЛ, или системой собирающей СЛ и рассеивающей РЛ линз. Линзы с помощью рейтеров могут перемещаться относительно оптической скамьи.

Порядок выполнения работы

Задание 1. Определение фокусного расстояния собирающей линзы с использованием формулы линзы.

1. Установите на оптической скамье собирающую линзу между предметом и экраном. Включите осветитель.

2. Перемещая линзу, получите отчетливое изображение светящейся стрелки на экране. Измерьте расстояние d от стрелки до линзы, а также расстояние f от экрана до линзы. Измерения выполните три раза, вновь сбивая и настраивая линзу, результаты занесите в табл. 8.1. **Выключите осветитель.**

Таблица 8.1

| № измерения | d , мм | $\langle d \rangle$, мм | f , мм | $\langle f \rangle$, мм | $F \pm \Delta F$, мм |
|-------------|----------|--------------------------|----------|--------------------------|-----------------------|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |

2. Рассчитайте средние значения $\langle d \rangle$ и $\langle f \rangle$. Оцените абсолютную погрешность измерения d и f .

3. Вычислите фокусное расстояние F линзы. Рассчитайте погрешность F .

Задание 2. Определение фокусного расстояния собирающей линзы с использованием формулы (8.3)

1. Расположите экран от предмета на расстоянии $L > 4F$, значение F возьмите из таблицы 8.1. Измерьте расстояние L (см. рис. 8.3,а), результат измерения занесите в табл. 8.2.

Таблица 8.2

| № измерения | l_i , мм | $\langle l \rangle$, мм | L , мм | $F \pm \Delta F$, мм |
|-------------|------------|--------------------------|----------|-----------------------|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |

2. Изменяя положение линзы, получите сначала увеличенное, а затем уменьшенное изображение стрелки на экране. Измерьте расстояние между соответствующими положениями линзы. Измерения l_i выполните три раза. **Выключите осветитель**

3. Рассчитайте среднее значение $\langle l \rangle$, оцените абсолютную погрешность измерения l .

4. Вычислите фокусное расстояние F линзы по формуле (8.3). Рассчитайте относительную погрешность измерения l и в качестве относительной погрешности определения F приближенно примите удвоенную относительную погрешность l .

Задание 3. Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы

1. Расположите на оптической скамье рассеивающую линзу между собирающей линзой и экраном. Расстояние между линзами должно быть минимальным. Перемещая обе линзы вместе и экран, добейтесь четкого изображения стрелки на экране.

2. Измерьте расстояние d между рассеивающей линзой и экраном (см. рис. 8.4). Результат измерения занесите в табл. 8.3.

Таблица 8.3

| d , мм | L_1 , мм | L_2 , мм | f , мм | $F \pm \Delta F$, мм |
|----------|------------|------------|----------|-----------------------|
| | | | | |

3. Измерьте расстояние L_1 между собирающей и рассеивающей линзами.

4. Снимите со скамьи рассеивающую линзу. Передвигая экран по направлению к собирающей линзе, получите отчетливое изображение стрелки. Измерьте расстояние L_2 между собирающей линзой и экраном. **Выключите осветитель**

5. Вычислите расстояние f от мнимого изображения до рассеивающей линзы, используя соотношение $f = L_2 - L_1$.

6. Вычислите фокусное расстояние рассеивающей линзы по формуле (8.5).

Задание 4. Проверка формулы тонкой линзы

1. Установите на оптической скамье собирающую линзу между предметом и экраном. Включите осветитель.

2. Расположите линзу на расстоянии d (табл. 8.4) от предмета. Перемещая экран, получите отчетливое изображение светящейся стрелки на нем. Измерьте расстояние $f_{\text{экр}}$ от экрана до линзы. Полученное значение занесите в табл. 8.4. Измерения выполните три раза, вновь сбивая и настраивая экран, результаты занесите в табл. 8.4.

3. Выполните измерения для всех значений d указанных в таблице 8.4.

4. Рассчитайте среднее значение $\langle f_{\text{экр}} \rangle$. Оцените абсолютную погрешность измерений d и $f_{\text{экр}}$.

5. Вычислите расстояние f по формуле (8.1), используя значения d из табл. 8.4, а фокусное расстояние F линзы примите равным табличному значению.

Таблица 8.4

$$F_{\text{табл}} = \dots \text{ мм}$$

| № измерения | d , мм | $f_{\text{эксп}}$, мм | | | $\langle f_{\text{эксп}} \rangle$, мм | f , мм |
|-------------|----------|------------------------|--|--|--|----------|
| 1 | 200 | | | | | |
| 2 | 170 | | | | | |
| 3 | 150 | | | | | |
| 4 | 135 | | | | | |
| 5 | 120 | | | | | |

6. Постройте график функции $d(f)$. На этот график нанесите экспериментальные значения $f_{\text{эксп}}$ для различных значений d . Нанесите на графики погрешности.

7. Сравните полученные распределения и сделайте выводы.

8. Напишите заключение к работе.

Контрольные вопросы

1. При каком условии размер изображения предмета, даваемый собирающей линзой, равен размеру самого предмета?

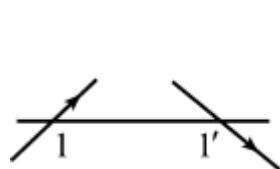
2. Какие условия необходимо создать, чтобы собирающая линза стала рассеивающей?

3. Подумайте, как еще можно определить фокусное расстояние собирающей линзы?

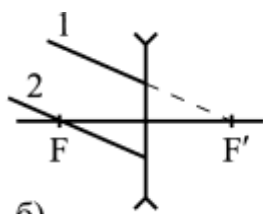
4. Можно ли сфотографировать изображение в рассеивающей линзе?

5. На рисунке 8.6,а изображена главная оптическая ось тонкой линзы, падающий на нее и преломленный ею лучи 1 и 1'. Построением найдите положение линзы и ее фокусов.

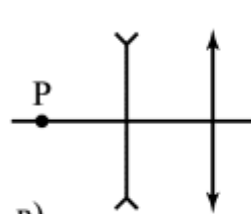
6. Постройте ход лучей 1 и 2, параллельных друг другу, после прохождения ими тонкой рассеивающей линзы (см. рис.8.6,б).



а)



б)



в)

Рис. 8.6

7. На рисунке 8.6,в изображена система двух тонких линз, передние фокусы которых совпадают с их оптическими центрами. Постройте изображение точки P , находящейся в заднем фокусе рассеивающей линзы.