

## Раздел 4

### ОПТИКА

#### Работа 4.1

### Определение фокусных расстояний линзы и сферического зеркала

**Оборудование:** оптическая скамья, источник света, две двояковыпуклые линзы, одна двояковогнутая линза, вогнутое сферическое зеркало, экран, держатели для линз и зеркала.

#### Введение

Для определения фокусных расстояний можно пользоваться общей формулой линзы:

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

где  $d$  — расстояние от предмета до линзы,  $f$  — расстояние от изображения до линзы,  $F$  — фокусное расстояние линзы.

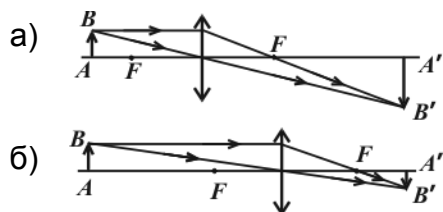


Рис. 4.1

Если расстояние от предмета до экрана, которое обозначим  $l$ , больше, чем  $4F$ , то найдется два положения линзы, при которых на экране получается четкое изображение предмета, в одном случае увеличенное (рис. 4.1, а), во втором — уменьшенное (рис. 4.1, б). Обозначим в первом случае расстояния предмета и изображения до линзы соответственно  $d_1$  и  $f_1$ , а во втором —  $d_2$  и  $f_2$ . Если расстояние между предметом и экраном при перемещении линзы остается постоянным, то

$$d_1 + f_1 = d_2 + f_2. \quad (2)$$

Из соотношений (1) и (2) следует:

$$d_1 f_1 = d_2 f_2. \quad (3)$$

Совместное существование соотношений (2) и (3) возможно в том случае, если  $d_1 = d_2$  и  $f_1 = f_2$  или  $f_1 = d_2$  и  $f_2 = d_1$ . Иначе говоря, положение линзы такое, что расстояние от нее до экрана при одном положении равно расстоянию от нее до предмета при другом. Если обозначить расстояние между этими положениями

линзы через  $k$ , то легко убедиться, что когда линза расположена ближе к предмету, то

$$d_1 = \frac{l-k}{2}, f_1 = \frac{l+k}{2},$$

а в другом случае

$$d_2 = \frac{l+k}{2}, f_2 = \frac{l-k}{2}.$$

Из формулы (1) для любого из этих случаев имеем:

$$\frac{1}{F} = \frac{2}{l+k} + \frac{2}{l-k},$$

или

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

Этот способ определения фокусных расстояний называют *способом Бесселя*. Он является наиболее точным. Действительно, если определять фокусное расстояние линзы по расстоянию предмета и изображения до линзы (1), то необходимо отсчитывать эти расстояния от соответствующих главных плоскостей линзы, что сделать довольно трудно. Если эти же расстояния измерять от середины линзы, то при этом будет допущена значительная ошибка. В способе Бесселя ошибка исключается благодаря тому, что измеряется не расстояние до линзы, а ее перемещение.

Как известно, *оптическая сила* линз, находящихся в оптическом контакте, равна алгебраической сумме оптических сил этих линз. Если к определенной рассеивающей линзе добавить две собирающие, фокусные расстояния которых известны ( $F_1$  и  $F_2$ ), и такие, что полученная система действует как собирающая линза, то

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} + \frac{1}{F_x},$$

где  $F_x$  — *фокусное расстояние рассеивающей линзы*,  $F$  — *фокусное расстояние системы линз*. Тогда для фокусного расстояния рассеивающей линзы получим:

$$\frac{1}{F_x} = \frac{1}{F} - \frac{1}{F_1} - \frac{1}{F_2}. \quad (5)$$

Для определения фокусного расстояния вогнутого сферического зеркала используют общую формулу зеркала:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}, \quad (6)$$

где  $d$  — *расстояние от предмета до зеркала*;  $f$  — *расстояние от изображения до зеркала*,  $F$  — *фокусное расстояние зеркала*.

Иногда используют формулу

$$\frac{x}{y} = \frac{d - F}{F} = \frac{F}{f - F}, \quad (7)$$

где  $x$  — размеры предмета,  $y$  — размеры его изображения (рис. 4.2). Из формул (6), (7) получаем:

$$F = \frac{d \cdot f}{d + f}, \quad (8)$$

$$F = \frac{y \cdot d}{x + y}, \quad (9)$$

$$F = \frac{x \cdot f}{x + y}. \quad (10)$$

Уравнения (8), (9), (10) справедливы только в тех случаях, когда падающие на зеркало лучи составляют с главной оптической осью зеркала небольшие углы (*параксиальные лучи*).

### Порядок выполнения работы

**Задание 1.** Определение фокусного расстояния собирающих линз.

1. Установите экран и предмет на расстоянии  $l > 4F$  друг от друга.

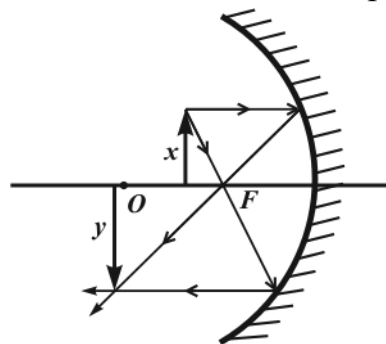


Рис. 4.2

2. Поставьте исследуемую собирающую линзу между предметом и экраном и получите на экране четкое увеличенное изображение предмета. Определите по шкале оптической скамьи местоположение линзы.

3. Перемещением линзы получите на экране четкое уменьшенное изображение предмета. Отсчитайте по шкале новое местоположение линзы и найдите  $k$ .

4. Определите  $F$  по формуле (4).

5. Опыт повторите не менее 3 раз.

6. Определите  $F$  для другой собирающей линзы.

7. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу:

№ п/п	$l$ , м	$k$ , м	$F$ , м
-------	---------	---------	---------

**Задание 2.** Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы.

1. Составьте систему из трех линз (двух собирающих и одной рассеивающей).

2. Определите фокусное расстояние  $F$  полученной системы по формуле (4).

3. По формуле (5) определите фокусное расстояние линзы  $F_x$ .

4. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу:

№ п/п	$l, \text{ м}$	$k, \text{ м}$	$F_1, \text{ м}$	$F_2, \text{ м}$	$F, \text{ м}$	$F_x, \text{ м}$
-------	----------------	----------------	------------------	------------------	----------------	------------------

**Задание 3.** Определение фокусного расстояния вогнутого сферического зеркала.

1. Поставьте в линзодержатель сферическое зеркало с небольшим наклоном в сторону источника света, а экран расположите между зеркалом и источником. Получите четкое изображение предмета на экране.

2. Сделайте измерения  $d$  и  $f$ , высоты предмета и его изображения. Определите  $F$  по формулам (8), (9), (10).

3. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу:

№ п/п	$d, \text{ м}$	$F, \text{ м}$	$x, \text{ м}$	$y, \text{ м}$	$F, \text{ м (8)}$	$F, \text{ м (9)}$	$F, \text{ м (10)}$
-------	----------------	----------------	----------------	----------------	--------------------	--------------------	---------------------

### ЗАДАНИЯ ДЛЯ УИР

1. Определите фокусное расстояние выпуклого сферического зеркала.

2. Получите зависимость высоты изображения, которое получается в собирающей линзе, от расстояния от предмета до линзы. Постройте график этой зависимости.



### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Постройте действительное увеличенное (уменьшенное) изображение предмета в собирающей линзе.

2. Получите рабочую формулу для определения фокусных расстояний линз способом Бесселя.

3. Почему способ Бесселя является наиболее точным?

4. Как определить фокусное расстояние рассеивающей линзы?

5. Получите формулу, которая связывает фокусное расстояние вогнутого сферического зеркала с размерами предмета и изображения.

6. Дайте определение фокусов собирающей и рассеивающей линз. Сделайте соответствующие рисунки.

7. Получите общую формулу линзы.

8. Постройте изображение точечного источника света, который находится на главной оптической оси вогнутого сферического зеркала.

9. В каких единицах измеряется оптическая сила? Дайте ее определение.

10. Чему равна оптическая сила системы линз?

