

Изучение центрированных оптических систем.

Цель работы: изучить законы построения изображения в центрированных оптических системах.

Решаемые задачи:

- приобрести навыки юстировки центрированных оптических систем;
- освоить методы измерения фокусных расстояний собирающих и рассеивающих линз;
- пронаблюдать экспериментально зависимость вида изображения от положения предмета относительно фокусного расстояния линзы.

Оптические элементы и аппаратура:

1. Малый оптический рельс на подставке
2. лампа накаливания в корпусе и блок питания
3. асферический конденсор со штативом для диафрагмы
4. полупрозрачный экран
5. 5 собирающих линз с фокусными расстояниями $f=50$ мм, 100 мм, 150 мм, 200 мм, 300 мм.;
6. рассеивающая линза с фокусным расстоянием $f = -100$ мм.;
7. набор из двух прозрачных стекол с рисунком для исследования изображений.
8. рулетка длиной 2 м.

Упражнение 1. Определение фокусного расстояния тонкой собирающей линзы.

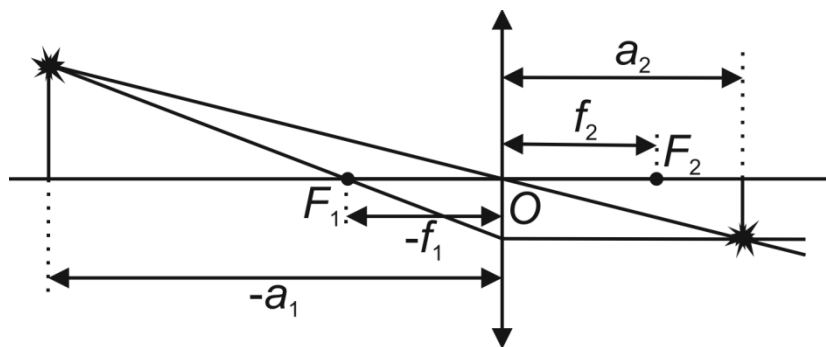


Рис.1 Ход лучей в тонкой линзе.

Если менять расстояние между предметом и линзой ($-a_1$), то изображение будет формироваться на различных расстояниях a_2 от линзы. Так как величины a_1 и a_2 связаны соотношением:

$$\frac{1}{(-a_1)} + \frac{1}{a_2} = \frac{1}{f_2}, \quad (1)$$

то величину фокусного расстояния линзы f_2 или ($-f_1$) можно определить по графику зависимости $\frac{1}{a_2}$ от $\frac{1}{(-a_1)}$ как обратную величину отрезка, отсекаемого графиком на оси ординат.

Порядок выполнения задания:

1. На оптической скамье расположить осветитель, собирающую линзу и экран (рис.2).

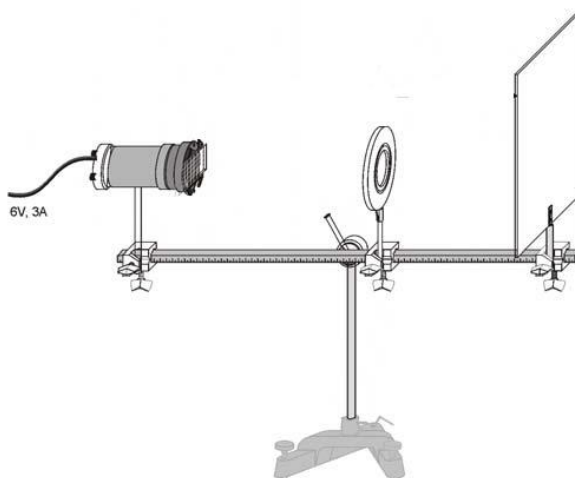


Рис.2. Экспериментальная установка для определения фокусного расстояния собирающей линзы.

2. В штатив на асферическом конденсоре вставить диафрагму в виде стрелки.
3. Включить осветитель в сеть.
4. Переместить экран на конец рельса.
5. Перемещая исследуемую линзу между экраном и предметом добиться на экране четкого изображения стрелки.
6. Измерить расстояния $(-a_1)$ и a_2 .
7. Уменьшить расстояние между предметом и экраном на 3-4 см и снова измерить расстояния $(-a_1)$ и a_2 .
8. Повторить эти измерения для 4-5 расстояний между предметом и экраном.
9. Построить график, откладывая по осям координат величины $x = \frac{1}{(-a_1)}$ и

$y = \frac{1}{a_2}$ и по графику определить фокусное расстояние линзы.

Упражнение 2. Определение фокусного расстояния собирающих линз методом Бесселя.

Если между предметом и экраном расстояние больше $4f$, то находят два положения линзы, одно из которых соответствует увеличенному, другое – уменьшенному изображениям (рис.2). Расстояние между объектом и экраном остается неизменным.

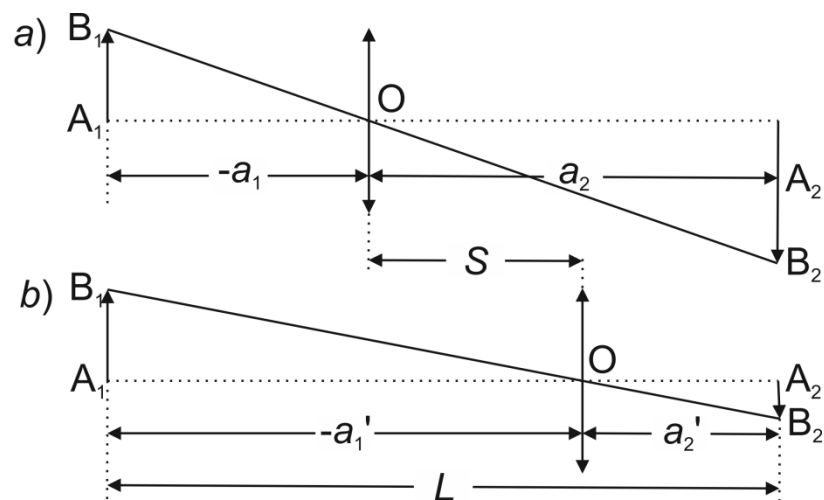


Рис.3. К определению фокусного расстояния тонкой собирающей линзы методом Бесселя.

Обозначив $S = (-a_1') - (-a_1)$ и $L = (-a_1) + a_2$, с учетом (1) получим формулу Бесселя для определения фокусного расстояния:

$$f = \frac{L^2 - S^2}{4L} \quad (2)$$

Порядок выполнения задания:

1. Установите лампу с асферическим конденсором с края оптического рельса. Вставьте в штатив для диафрагм прозрачное стекло с рисунком.
2. Расположите полупрозрачный экран на расстоянии около 50 см от объекта.
3. Линзу с $f = 100$ мм установите между штативом для диафрагм и экраном (рис 4).

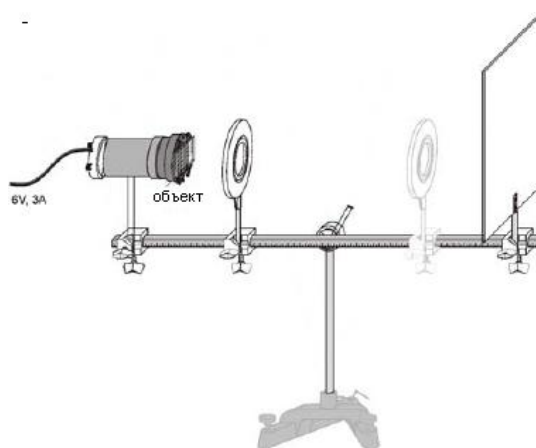


Рис.4 Экспериментальная установка для определения фокусного расстояния линзы методом Бесселя.

4. Двигайте зажим с линзой по направлению к объекту до тех пор, пока не получите четкое изображение на экране, после чего измерьте расстояние a_2 между линзой и экраном.

5. Двигайте линзу по направлению к экрану до тех пор, пока снова не получите четкого изображения. Измерьте расстояние a_2' между линзой и экраном.
6. Определите $s = (-a_1') - (-a_1) = a_2 - a_2'$ и по формуле (2) рассчитайте фокусное расстояние линзы.
7. Повторите эксперимент с линзой $f = 150$ мм.

Упражнение 3. Определение фокусного расстояния собирающей линзы автоколлимационным методом.

Автоколлимационный метод основан на обратимости хода световых лучей, идущих параллельно оптической оси. Если объект поместить в фокусе линзы, то после линзы будет распространяться параллельный оптической оси пучок света. Стоящее позади линзы плоское зеркало будет отражать этот свет таким образом, что изображение объекта будет наблюдаться рядом с объектом (рис.5). При этом расстояние d между линзой и изображением будет равно фокусному расстоянию линзы f .

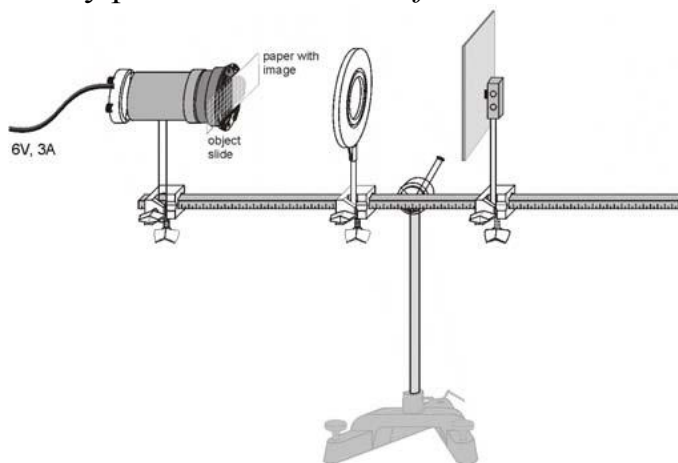


Рис.5 Экспериментальная установка для определения фокусного расстояния линзы автоколлимационным методом.

Порядок выполнения задания:

1. Установить лампу с асферическим конденсором на оптический рельс, как показано на рисунке 5.
2. Установить линзу $f = +150$ мм таким образом, чтобы свет проходил через линзу вдоль оптической оси. Расстояние между линзой и штативом для диафрагм должно быть порядка фокусного расстояния линзы.
3. Вставить прозрачное стекло с узором (объект) и белый лист бумаги (экран для наблюдения изображения объекта) в штатив для диафрагм, в соответствии с рисунком 5. И бумага, и объект должны закрывать половину линзы конденсора.
4. Установить зеркало позади линзы. Расстояние между линзой и зеркалом может быть выбрано меньше фокусного расстояния.
5. Подстраивайте положение линзы до тех пор, пока изображение узора на бумаге не станет четким. Возможно, понадобится подстраивать

положения зеркала и линзы до тех пор, пока изображение не станет одного размера с оригиналом.

- Измерьте расстояние d между линзой и плоскостью объекта (изображения).
- Повторите эксперимент с другими линзами.

Упражнение 4. Определение фокусного расстояния тонкой рассеивающей линзы.

Фокусное расстояние отрицательной линзы определяется с помощью вспомогательной положительной линзы.

Если на пути лучей, выходящих из источника S и сходящихся в точке S_1 после преломления в собирающей линзе 1 (рис.6) поместить рассеивающую линзу 2 так, чтобы расстояние a_1 было меньше ее фокусного расстояния, то изображение источника S удалится от линзы 1. Предположим, что оно переместится в точку S_2 . Для линзы 2 точка S_1 является предметом, а S_2 – изображением.

Тогда, согласно (1) можно найти положение заднего фокуса рассеивающей линзы:

$$f_2 = \frac{a_1 a_2}{a_1 - a_2} \quad (3)$$

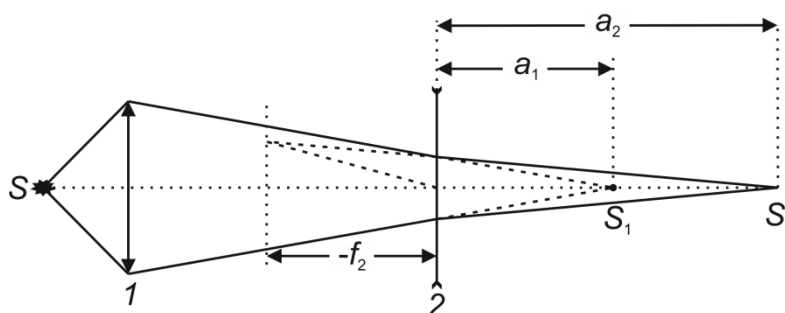


Рис.6. К определению фокусного расстояния рассеивающей линзы.

Порядок выполнения задания:

- На оптической скамье расположите осветитель, собирающую линзу с $f = 100$ мм и экран, как показано на рис.2.
- Вставьте в штатив для диафрагм прозрачное стекло с рисунком.
- Поместите линзу на расстояние ~ 30 см от объекта и перемещая экран, получите на нем отчетливое изображение рисунка (уменьшенное). Отметьте это положение экрана (точка S_1).
- На оптическую скамью между собирающей линзой и экраном поместите исследуемую рассеивающую линзу.
- Перемещая экран, вновь найти отчетливое изображение рисунка (точка S_2).
- Определив расстояния a_1 и a_2 (рис.6), по формуле (3) вычислить фокусное расстояние f рассеивающей линзы.

Упражнение 5. Определение фокусных расстояний собирающей и рассеивающей линз с помощью параллельных пучков света (демонстрационное упражнение).

Порядок выполнения задания:

1. Установить лампу с асферическим конденсором и полупрозрачный экран на оптический рельс, как показано на рисунке 7. Линзу пока не устанавливать.

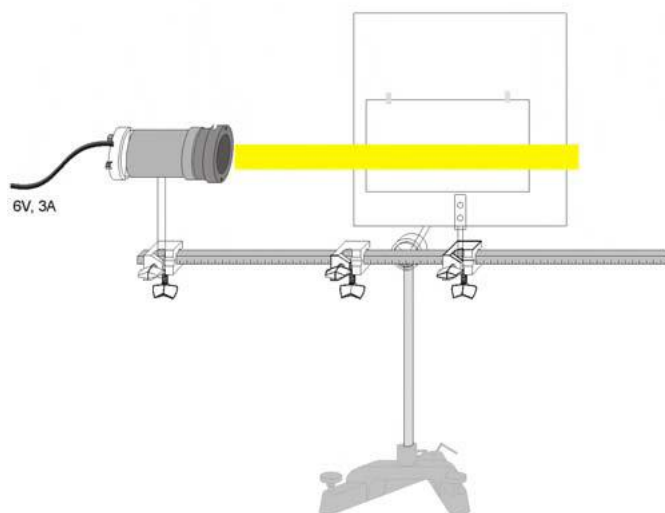


Рис.7. Исходная экспериментальная установка.

2. Создать параллельный пучок света, направленный вдоль оптической оси. Для этого перемещая лампу относительно конденсора, получить четкое изображение спирали лампы (горизонтальное) в наиболее удаленной точке (на стене).
3. На экране зафиксировать при помощи липкой ленты лист белой бумаги. Убедиться, что пучок света параллелен.
4. Установить линзу с $f = 100$ мм в зажиме перед экраном.
5. Отметить точку пересечения лучей преломленного пучка, вышедшего из линзы (рис. 8) и измерить фокусное расстояние.

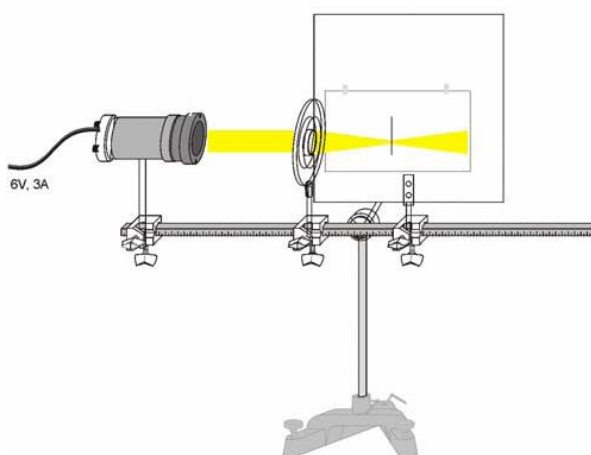


Рис.8. Экспериментальная установка для определения фокусных расстояний собирающих линз с помощью параллельных пучков.

6. Для определения фокусного расстояния рассеивающей линзы, сложить лист белой бумаги вдвое и закрепить на экран таким образом, чтобы изгиб совпадал с краем экрана вблизи линзы (рис 9).
7. Установить линзу $f = -100\text{мм}$ в зажиме перед экраном.
8. Зафиксировать форму преломленного пучка света на бумаге, проведя линии вдоль границы освещенной области (рис 9).
9. Снять лист бумаги, развернуть, продолжить полученные линии до пересечения, и определить фокусное расстояние линзы, как показано на рис.9.

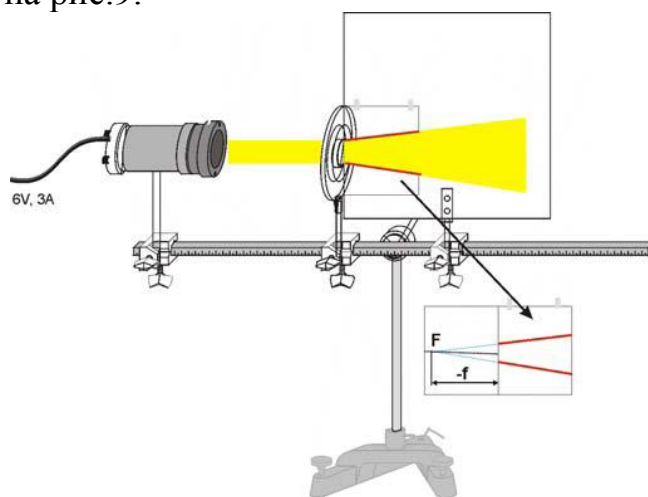


Рис.9 Экспериментальная установка для определения фокусного расстояния рассеивающей линзы с помощью параллельных пучков.

Контрольные вопросы:

1. Центрированная оптическая система (ЦОС)
2. Кардинальные элементы ЦОС. Построение изображений в ЦОС.
3. Тонкая линза. Оптическая сила линзы.
4. Методы определения фокусных расстояний собирающих и рассеивающих линз.

Рекомендуемая литература.

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. §§75 - 79.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §§2, 9 - 11.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. Изд-во Лань, СПб, 2008. §§115-117.
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.2, С-Пб., Невский диалект, 2003. §7.1, §7.2