

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4.1.1

ИЗУЧЕНИЕ ЦЕНТРИРОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Цель работы: изучить методы определения фокусных расстояний линз и сложных оптических систем; определить характеристики оптической системы, составленной из тонких линз; изучить недостатки реальных линз – сферическую и хроматическую аберрации.

Оборудование: оптическая скамья с набором рейтеров, положительные и отрицательные линзы, экран, осветитель с ирисовой диафрагмой, зрительная труба, светофильтры, кольцевые диафрагмы, линейка.

ТЕОРИЯ

Измерение фокусного расстояния можно производить с помощью метода Аббе и следующей установки

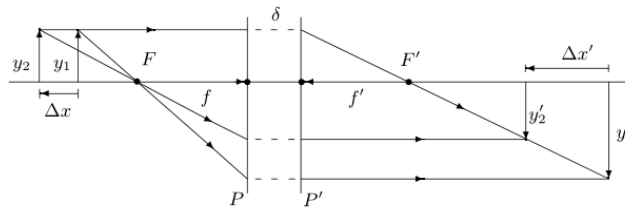


Рис. 1. Измерение фокусного расстояния оптической системы по методу Аббе

Тогда,

$$f = \frac{\Delta x}{\Delta(y/y')} = -\frac{\Delta x'}{\Delta(y'/y)} \quad (1)$$

Также, фокусное расстояние можно измерить с помощью метода Бесселя

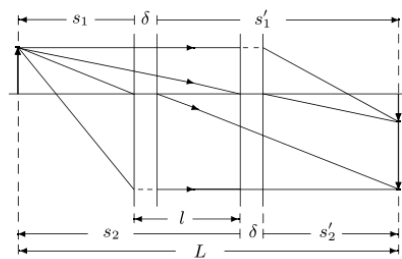


Рис. 2. Измерение фокусного расстояния оптической системы по методу Бесселя

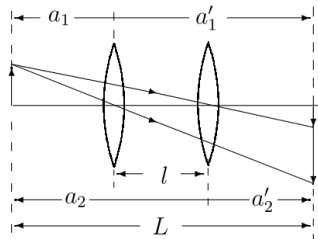
$$f = \frac{L^2 - l^2}{4L} \quad (2)$$

$$-\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s'_1} = \frac{1}{f} \quad (3)$$

ХОД РАБОТЫ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНЫХ РАССТОЯНИЙ ТОНКИХ ЛИНЗ И ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЖНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Отберем собирающие линзы, соберем и настроим установку. Проведем центрировку. Измерим фокусное расстояние линзы №1 с помощью метода Бесселя. Для этого установим линзу между осветителем и экраном. С помощью линейки измерим указанные расстояния несколько раз.



Между осветителем и экраном $L = 48$ см

| № измерения | a_1 , см | a'_1 , см | a_2 , см | a'_2 , см | l , см | f , см (Формула (2)) | f , см (Формула (3)) |
|-----------------------|------------|-------------|------------|-------------|----------|------------------------|------------------------|
| 1 | 14.0 | 34.0 | 34.0 | 14.0 | 20.0 | 9.9 | 9.9 |
| 2 | 13.5 | 34.5 | 33.5 | 14.5 | 20.0 | 9.9 | 9.7 |
| 3 | 14.5 | 33.5 | 34.0 | 14.0 | 19.5 | 10.0 | 10.1 |
| 4 | 14.0 | 34.0 | 34.5 | 13.5 | 20.5 | 9.8 | 9.9 |
| $\sigma_{\text{отд}}$ | | | | | | 0.10 | 0.15 |

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНЫХ РАССТОЯНИЙ ТОНКИХ ЛИНЗ С ПОМОЩЬЮ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ

Настроим зрительную трубу на бесконечность. Установим первую линзу перед предметом на примерно фокусном расстоянии. За ней установим зрительную трубу. Измерим фокусное расстояние, добившись четкого изображения в окуляре. Для первой линзы $f = 10.0$ см, для второй линзы $f = 12.5$ см. Повернув линзы другой стороной повторим измерения. Расстояния совпали и можно считать эти линзы тонкими. Для третьей, рассеивающей линзы используем схему как на рисунке

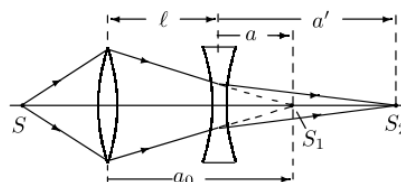


Рис. 3. Измерение фокусного расстояния рассеивающей линзы

За рассеивающей линзой поместим зрительную трубу. Тогда, в окуляре будет резкое изображение, когда мнимый источник S_1 будет находиться на фокусном расстоянии от линзы и

$$a = f = a_0 - l \quad (4)$$

Расстояние $a_0 = 44.0$ см, $l = 36.0$ см, $l_{\text{пер}} = 37.0$ см. Тогда, фокусное расстояние $f = -8.0$ см, $l_{\text{пер}} = -7.0$ см. Результаты расходятся, линзу нельзя считать тонкой.

Запишем в таблицу все результаты:

| № линзы | Метод Бесселя, формула (2) | Метод Бесселя, формула (3) | Зрительная труба | Зрительная труба, повернутые линзы |
|---------|----------------------------|----------------------------|------------------|------------------------------------|
| 1 | 9.9 ± 0.1 | 9.9 ± 0.2 | 10.0 ± 0.5 | 10.0 ± 0.5 |
| 2 | - | - | 12.5 ± 0.5 | 12.5 ± 0.5 |
| 4 | - | - | -8.0 ± 0.5 | -7.0 ± 0.5 |

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ ГЛАВНЫХ И ФОКАЛЬНЫХ ПЛОСКОСТЕЙ СЛОЖНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Установим линзы с номерами 1 и 2 на минимальном расстоянии $l_{12} = 7.5$ см. Определим фокусное расстояние методом Аббе. Расстояние от предмета до первой линзы $l_{\text{пл}} = 4$ см. $\frac{y'_1}{y_1} = 10.4$ см, $\frac{y'_2}{y_2} = 1.5$ см, $\Delta x = 4.5$ см, $\Delta x' = 74$ см. Тогда, согласно формуле (1) и формуле для сложной оптической системы

$$f_{2\Sigma} = \frac{\Delta x}{y_1/y'_1 - y_2/y'_2} = -\frac{\Delta x'}{y'_1/y_1 - y'_2/y_2} \quad (5)$$

$$-\frac{1}{f_{2\Sigma}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{|l_{12}|}{f_1 f_2} \quad (6)$$

По формуле (5) $f_{2\Sigma} = -7.9$ см, по формуле (6) $f_{2\Sigma} = -8.3$ см.

Уберем экран, закрепим зрительную трубу за второй линзой, отцентрируем систему. Расстояние $x_1 = 3.5$ см. Поменяв линзы местами, расстояние $x_2 < 3$ см - его не удалось измерить, т.к. это минимальное расстояние до предмета.

СФЕРИЧЕСКАЯ АБЕРРАЦИЯ

Расположим осветитель и экран на дальних концах скамьи. Установим плосковыпуклую линзу №3 на расстоянии $a_1 = 64$ см от предмета, с маской минимального размера и четким изображением на экране. Для маски максимального диаметра это расстояние заметно изменилось. $a' = 23$ см.

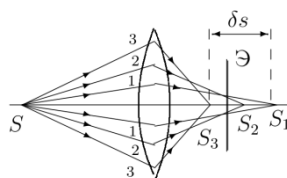


Рис. 4. Сферическая aberrация.

ХРОМАТИЧЕСКАЯ АБЕРРАЦИЯ

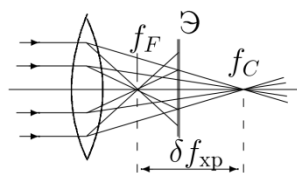


Рис. 5. Хроматическая
абберация