

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ОТЧЁТ
О ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Изучение центрированных
оптических систем

Работу выполнил,
студент ФЭФМ группы Б04-107 _____ Луговцов Г.С.

Долгопрудный 2023

Реферат

В работе представлены способы исследования таких параметров центрированных оптических систем как фокусное расстояние, хроматическая aberrация, сферическая aberrация. Продемонстрированы методы измерения этих параметров как на примере одной псевдотонкой линзы методами Аббе и Бесселя, так и на примере системы из двух линз. В результате мы выяснили, что хроматические и сферические aberrации вносят существенный вклад в формирование изображения.

Содержание

Введение	4
1 Методика	5
1.1 Экспериментальная установка	5
1.2 Центрировка элементов оптической системы	5
1.3 Определение фокусных расстояний тонких линз при помощи экрана	6
1.3.1 Метод Аббе	6
1.3.2 Метод Бесселя	6
1.4 Определение фокусных расстояний тонких линз при помощи зрительной трубы	7
1.5 Определение фокусного расстояния и положения главных и фокальных плоскостей сложной оптической системы	7
1.6 Сферическая абберация	7
1.7 Хроматическая абберация	8
2 Обсуждение результатов	9
Заключение	11

Введение

Оптические приборы, предназначенные для формирования изображений, в большинстве случаев представляют собой так называемые центрированные оптические системы – однородные преломляющие или отражающие среды, отделённые одна от другой сферическими поверхностями, центры кривизны которых лежат на одной прямой. У таких систем выделяют такие характеристики как фокусное расстояние и главные плоскости, которые описывают систему и позволяют точно узнать ход лучей для той или иной системы.

В силу приближений геометрической оптики ($\lambda \rightarrow 0$) мы пренебрегаем волновыми эффектами света. Поэтому в идеальных оптических системах лучи, вышедшие из одной точки объекта, пересекаются в одной и той же точке изображения независимо от угла испускания и длины волны света. В реальных системах такие зависимости имеют место, из-за чего заметно ухудшается качество изображения. Основные погрешности при этом возникают благодаря сферическим и хроматическим абберациям линз.

Работа направлена на определение фокусного расстояния различных систем рассеивающих и собирающих линз, а также на вычисление их основных аббераций – сферической и хроматической.

1 Методика

1.1 Экспериментальная установка

Экспериментальная установка представлена на рис. 1.1. В ходе проведения экспериментов набор линз всё время менялся. Все оптические элементы устанавливались на скамье при помощи рейтеров. Ирисовая диафрагма осветителя позволяла менять величину поля зрения. Яркость поля зрения регулировалась ручкой трансформатора осветителя.

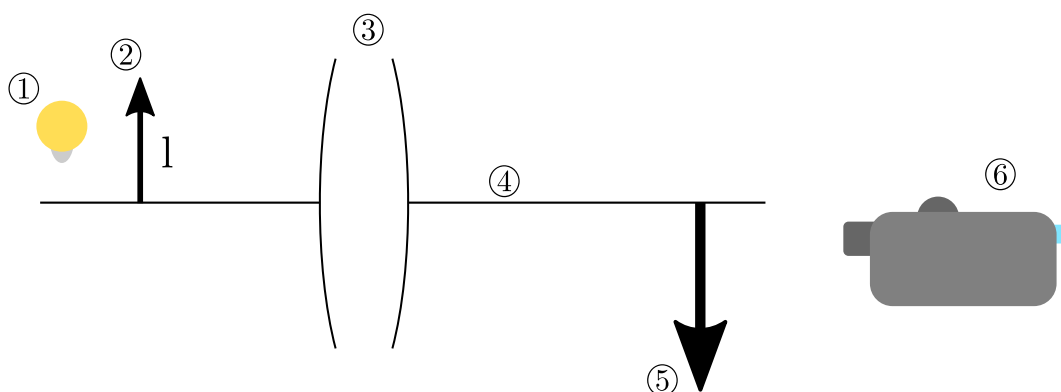


Рисунок 1.1 — Схема экспериментальной установки: 1 – осветитель; 2 – предмет ($l = 2$ см); 3 – набор линз; 4 – оптическая скамья; 5 – экран; 6 – зрительная труба.

1.2 Центрировка элементов оптической системы

Важную роль играет правильная центрировка элементов системы. Проходя через плохо отцентрированную систему, лучи света могут отклониться и пройти мимо экрана или глаза наблюдателя.

Для центрировки системы мы сначала отрегулировали высоту экрана по изображению, а затем последовательно будем ставили между осветителем и экраном линзы, регулируя положение которых свели центр изображения и экрана.

1.3 Определение фокусных расстояний тонких линз при помощи экрана

1.3.1 Метод Аббе

Для определения фокусного расстояния тонкой линзы методом Аббе мы получили на экране резкое изображение предмета при двух различных положениях осветителя и экрана (рис. 1.2). Тогда фокусное расстояние может быть выражено по формуле

$$f = \frac{\Delta x}{\Delta(y/y')} = -\frac{\Delta x'}{\Delta(y'/y)}. \quad (1.1)$$

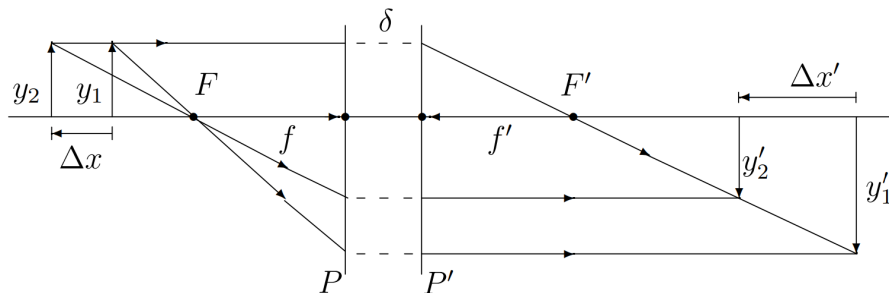


Рисунок 1.2 — Измерение фокусного расстояния по методу Аббе

1.3.2 Метод Бесселя

Напротив, метод Бесселя предполагает передвижение линзы при неподвижном экране и осветителе. Таким образом мы получили два разных изображения, измерив размеры которых и воспользовавшись формулой (1.2) вычислили фокусное расстояние тонкой линзы.

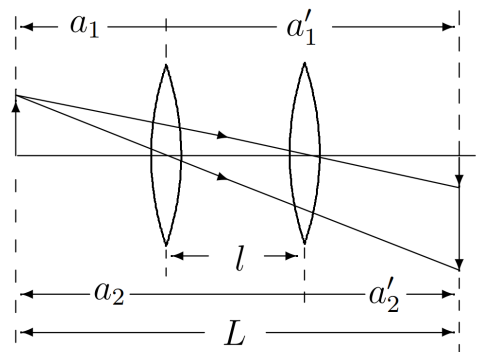


Рисунок 1.3 — Измерение фокусного расстояния по методу Бесселя

$$-\frac{1}{a} + \frac{1}{L - \delta + a} = \frac{1}{f}, \quad (1.2)$$

где $\delta = 0$.

1.4 Определение фокусных расстояний тонких линз при помощи зрительной трубы

Для определения фокусного расстояния тонких линз с помощью зрительной трубы мы настроили трубу на бесконечность, то есть на параллельный световой поток. Затем, двигая линзу в приблизительно на расстоянии, равном фокусному от источника, получили чёткое изображение предмета. Чтобы понять, можно ли считать линзу тонкой, мы повернули её другой стороной и повторили измерения.

1.5 Определение фокусного расстояния и положения главных и фокальных плоскостей сложной оптической системы

Для создания сложной оптической системы мы установили в центре оптической скамьи две тонкие линзы на минимальном расстоянии друг от друга и измерили расстояние между ними. Затем, предвигая экран и источник, мы получили чёткое изображение и, воспользовавшись формулами (1.1) и (1.3), нашли фокусное расстояние системы.

$$-\frac{1}{f_{2\Sigma}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{|l_{12}|}{f_1 f_2} \quad (1.3)$$

1.6 Сферическая абберация

Для наблюдения хроматической абберации сначала мы максимально закрыли диафрагму и получили резкое изображение. Затем, полностью открыв диафрагму, опять получили резкое изображение. Было видно, что расстояние до изображения изменилось при неизменном расстоянии от линзы до источника.

Чтобы количественно зафиксировать результат, мы измерили δs , используя зрительную трубу и изменяя размер кольца диафрагмы.

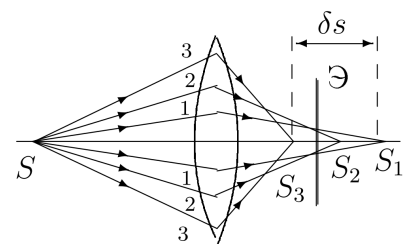


Рисунок 1.4 —
Сферическая абберация

1.7 Хроматическая aberrация

Используя зрительную трубу и два светофильтра по нониусной шкале мы определили положения линзы, соответствующие резкому изображению предмета. Затем, мы рассчитали хроматическую aberrацию по формуле

$$\delta f_{\text{xp}} = f_F - f_C$$

и число Аббе ν по формуле

$$\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}. \quad (1.5)$$

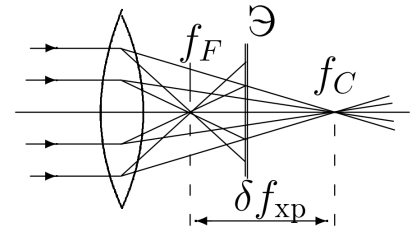


Рисунок 1.5 —

Хроматическая aberrация (1.4)

2 Обсуждение результатов

Линза 1

Метод Аббе

$$f = 112 \pm 4 \text{ мм.}$$

Метод Бесселя

$$f = 101 \pm 4 \text{ мм.}$$

Линза 1 Труба

$$f_1 = 100 \pm 3 \text{ мм, } f'_1 = 110 \pm 3 \text{ мм,}$$

линзу *нельзя* считать тонкой.

Линза 2 Труба

$$f_1 = 135 \pm 3 \text{ мм, } f'_1 = 138 \pm 3 \text{ мм,}$$

линзу *можно* считать тонкой.

Главные фокусы системы

$$F_{1\Sigma} = 38 \pm 3 \text{ мм, } F_{2\Sigma} = 35 \pm 3 \text{ мм.}$$

Сферическая aberrация

$$\delta s(r) = 1.20 \pm 0.22 \text{ мм,}$$

составляет 6% от размера источника.

На графике (рис. 2.1) видна линейная зависимость отклонения от квадрата диаметра диафрагмы.

Хроматическая aberrация

$$\delta f_{\text{хр}} = 0.58 \pm 0.14 \text{ мм,}$$

составляет 2.9% от размера источника.

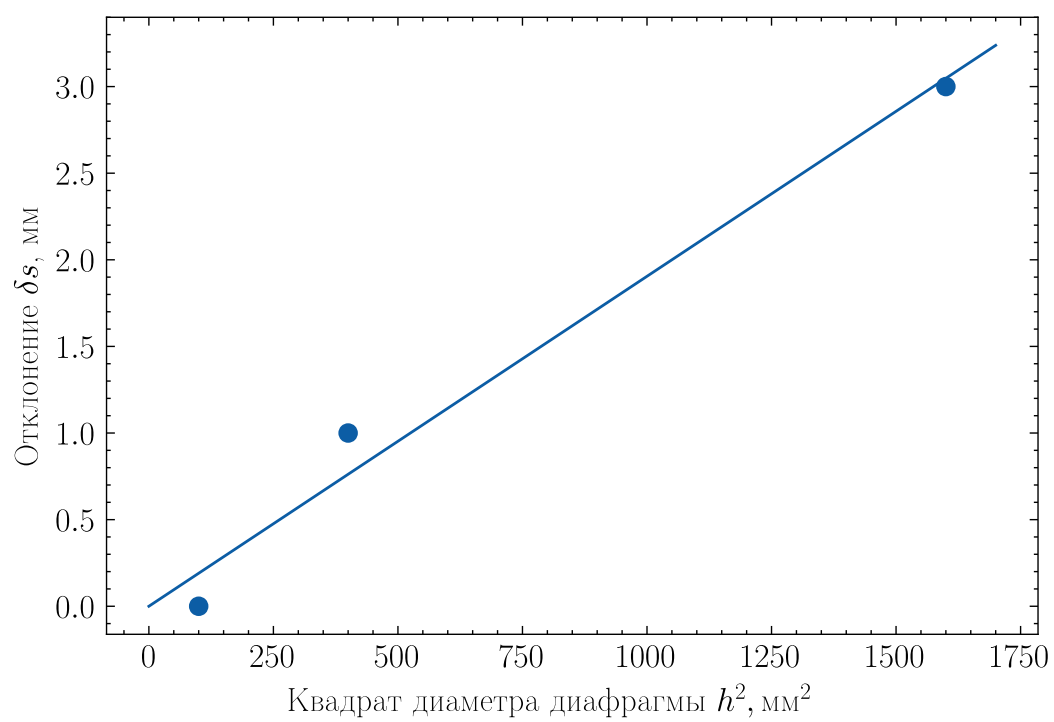


Рисунок 2.1 — Зависимость абберации от квадрата диаметра диафрагмы

Заключение

В результате были получены количественные характеристики основных aberrаций, замечена линейная зависимость сферической aberrации от квадрата диафрагмы и измерено влияние aberrаций оптической системы на формирование изображения.