

Отчет о выполнении лабораторной работы 4.1.1 "Геометрическая оптика"

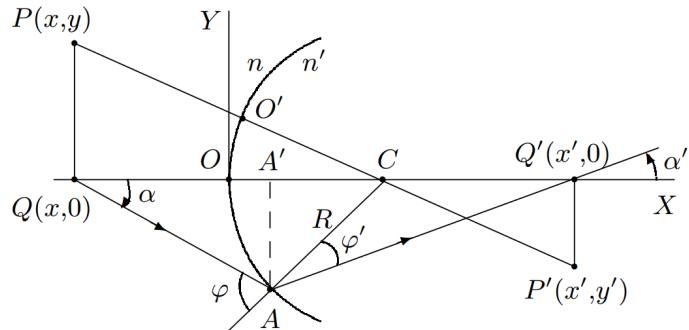
Алпатова Александра, Калашников Михаил, Б03-205

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 aberrации.

В работе используются:

- оптическая скамья с набором рейтеров;
- положительные и отрицательные линзы;
- экран;
- осветитель с ирисовой диафрагмой;
- зрительная труба;
- кольцевые диафрагмы;
- линейка.

1. Теоретические сведения



Используя закон преломления, получим для элементарной оптической ячейки, изображённой на рисунке выше, в параксиальном приближении:

$$-\frac{n}{x} + \frac{n'}{x'} = \frac{n' - n}{R}, \quad (1)$$

$$x\alpha = x'\alpha'. \quad (2)$$

Для прямой PP' , рассмотренной как оптическая ось,

$$\frac{y'}{y} = \frac{x' - R}{x - R}. \quad (3)$$

Проведя замену переменных, получим систему уравнений

$$\frac{x' - F'}{H' - F'} = \frac{H - F}{x - F} = \frac{y'}{y} = \frac{n\alpha}{n'\alpha'}, \quad (4)$$

$$(x - H)\alpha = (x' - H')\alpha'. \quad (5)$$

Из этих уравнений получим

$$\frac{n}{f} = -\frac{n'}{f'} \equiv \Phi, \quad (6)$$

где

$$f \equiv H - F, \quad f' \equiv H' - F'. \quad (7)$$

f и f' – главные фокусные расстояния системы.

2. Проведение эксперимента

1. Изучим предоставленный набор из пяти линз и оценим их фокусные расстояния при помощи удаленного источника света.
2. Отцентрируем все элементы оптической системы.

2.1. Определение фокусных расстояний линз с помощью подзорной трубы

1. Сфокусируем подзорную трубу на "бесконечность".
2. Расположим одну из линз на скамье, приблизительно на фокусном расстоянии. Перемещая линзу добьемся четкого изображения транспаранта источника.
3. Развернем линзу другой стороной и повторим измерения.
4. Проведем измерения несколько раз. Полученные значения занесем в таблицу.

n	1	2	3	4
$f_a, \text{ мм}$	75	126	174	241
$f_b, \text{ мм}$	79	128	178	251

5. Измерим случайную погрешность экспериментально: повторим одно измерение несколько раз и вычислим среднеквадратичное отклонение.

$f_{3a}, \text{ мм}$	177	175	177	176
----------------------	-----	-----	-----	-----

$$\sigma_{f, \text{ rand}} = 0.8 \text{ мм}$$

В качестве инструментальной погрешности возьмем цену деления линейки ($\sigma_{f, \text{ instr}} = 1 \text{ мм}$). Таким образом общая погрешность может быть вычислена по формуле:

$$\sigma_f = \sqrt{\sigma_{f, \text{ rand}}^2 + \sigma_{f, \text{ instr}}^2} = 1.3 \text{ мм}$$

6. Измерим фокусное расстояние отрицательной линзы. Получим, что $l = 217$ мм, $a_0 = 321$ мм.

$$f_5 = l - a_0 = (-104 \pm 2.6) \text{ мм}$$

2.2. Измерение фокусных расстояний линз по формуле тонкой линзы и методом Бесселя

1. Выберем одну линзу и помести экран на некотором расстоянии от предмета.
2. Поместим исследуемую линзу между источником и экраном и найдем два положения, при которых возникают четкие действительные изображения.

n	L , мм	$s1$, мм	$s2$, мм	l , мм
1	556 ± 2	358 ± 2.3	228 ± 2.3	130 ± 4.6
2	556 ± 2	360 ± 2.3	230 ± 2.3	130 ± 4.6

3. Вычислим фокусные расстояния по формуле тонкой линзы:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{L-s}$$

и по приближенной формуле Бесселя:

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

n	$f_{\text{т.л.}}, a$, мм	$f_{\text{т.л.}}, b$, мм	f_B , мм
1	127 ± 2	135 ± 2	131 ± 2
2	127 ± 2	135 ± 2	131 ± 2

2.3. Измерение фокусных расстояний методом Аббе

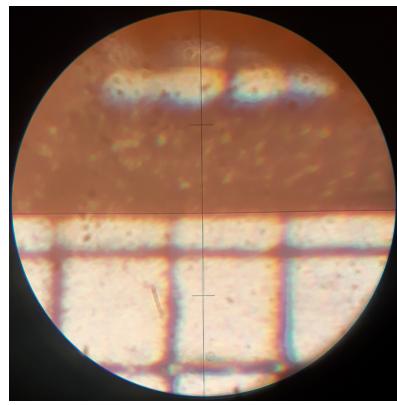
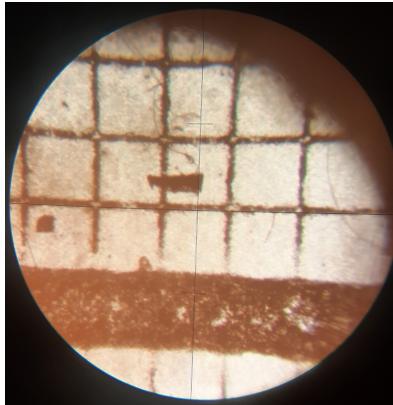
1. Установим линзу между осветителем с транспарантом и экраном.
2. Отодвинем осветитель на некоторое расстояние от линзы. Измерим новый размер изображения.
3. Рассчитаем фокусное расстояние линзы по методу Аббе:

$$f = \frac{\Delta x}{y_0/y_2 - y_0/y_1} = (126 \pm 3) \text{ мм}$$

2.4. Сборка и изучение подзорных труб Кеплера и Галилея

1. Из имеющегося набора линз выберем три: две для телескопа и одну для коллиматора.

2. С помощью коллиматора создадим расположенный на бесконечности объект.
3. Глядя в окуляр вспомогательной подзорной трубы, оценик сколько ячеек сетки укладывается в поле зрения на размере окулярной риски.
4. Соберем на скамье модель телескопа Кеплера.
5. Измерим новый видимый размер изображения ячейки сетки осветителя. Рассчитаем увеличение и сравним его с теоретическим.



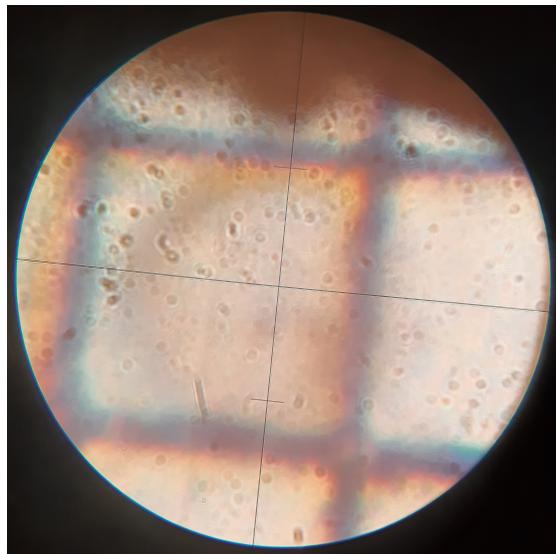
$$\gamma = \frac{1.4}{0.8} \approx 1.81 \pm 0.14$$

2.5. Сборка и изучение модели микроскопа

1. Отберем из набора две короткофокусные линзы. Вычислим необходимую длину оптического интервала ($\gamma_\infty \approx 4$, $L_{зр} \approx 25$ см):

$$\Delta = \gamma_\infty \frac{f_{об} f_{ок}}{L_{зр}} \approx 15 \text{ см}$$

2. Разместим линзы на скамье согласно расчетам. Добьемся четкой фокусировки увеличенного изображения сетки.



3. Для измерения увеличения микроскопа воспользуемся настроенной на бесконечность вспомогательной трубой. В таком случае увеличение может быть вычислено по формуле:

$$\gamma_{\infty} = \frac{\alpha}{\alpha_0} \frac{L_{зр}}{f_{кол}} \approx 3.3 \pm 0.2$$

3. Выводы

В ходе работы были изучены методы определения фокусных расстояний линз. Также нам были определены характеристики оптической системы, составленной из тонких линз.