

# Бичина Марина Б04-005, Лабораторная работа №. 4.1.1 «Изучение центрированных оптических систем»

## Цель работы:

1. изучить методы определения фокусных расстояний линз и сложных оптических систем
2. определить характеристики оптической системы, составленной из тонких линз

## Оборудование:

1. оптическая скамья с набором рейтеров
2. положительные и отрицательные линзы
3. экран
4. осветитель
5. зрительная труба
6. светофильтры
7. кольцевые диафрагмы
8. линейка

## Теоретическая справка:

1. Определение фокусного расстояния тонкой собирающей линзы методом Аббе  
Измерение фокусного расстояния по методу Аббе основано на определении

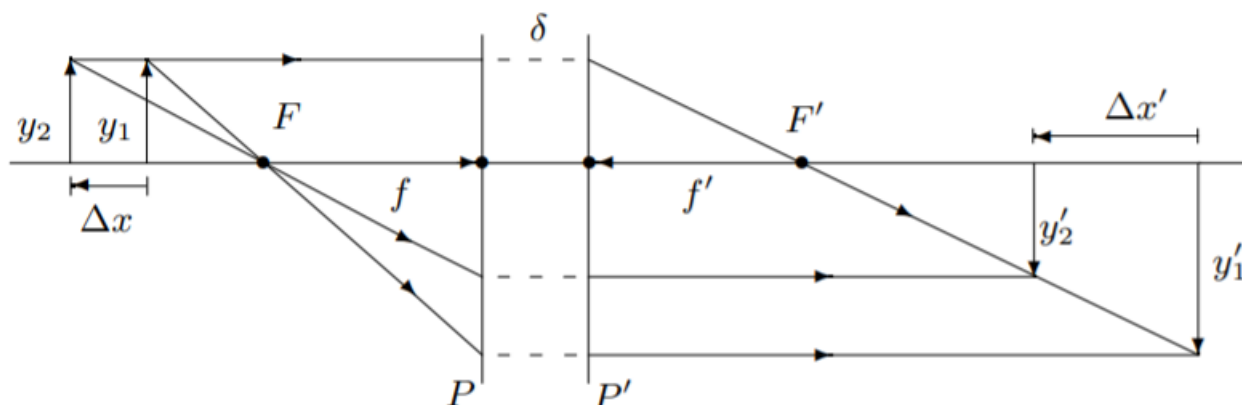


Рис. 1: Измерение фокусного расстояния оптической системы по методу Аббе

поперечного увеличения для нескольких различных положений предмета. Расчеты производятся следующим образом:

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

где  $\Delta(y'/y) = y_2/y'_2 - y_1/y'_1$  - приращение поперечного увеличения, а  $\Delta(y'/y)$  - величина, обратная поперечному увеличению

2. Определение фокусного расстояния собирающих линз и сложных оптических систем методом Бесселя

Метод основан на том, что при заданном расстоянии  $L$  между предметом и экраном уравнение

$$\frac{-1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \quad (2)$$

представляет собой квадратное уравнение относительно расстояния  $s$  от главной плоскости пространства предметов до предмета

$$\frac{-1}{s} + \frac{1}{L - \delta + s} = \frac{1}{f} \quad (3)$$

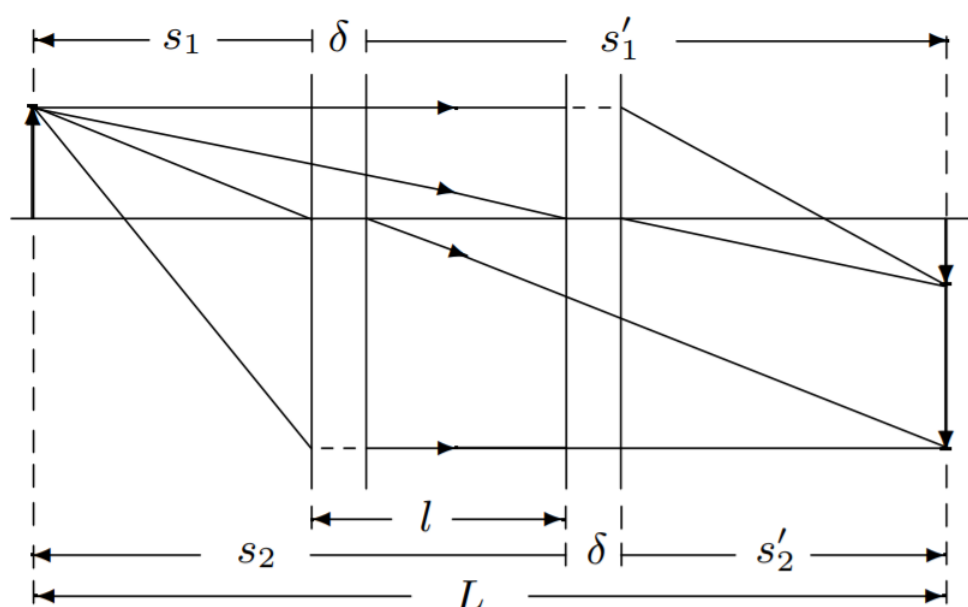


Рис. 2: Измерение фокусного расстояния методом Бесселя

В ходе преобразований формула фокуса может быть представлена в виде

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

где  $L$  - расстояние между предметом и экраном,  $l$  - расстояние между двумя положениями системы, при которых видны четкие изображения

**Ход работы:**

1. Определение фокусных расстояний тонких линз при помощи экрана

(а) Метод Аббе (собирающая линза 1) По формуле 1:

$$f_1 = \frac{2.5}{85/14} = 15.18 \text{ см}$$

$x_1, \text{ см}$	$x'_1, \text{ см}$	$y_1, \text{ см}$	$y'_1, \text{ см}$
17.5	31	2	5
$x_2, \text{ см}$	$x'_2, \text{ см}$	$y_2, \text{ см}$	$y'_2, \text{ см}$
15	51.5	2	8.5

Рис. 3: Данные, полученные методом Аббе для 1 линзы

или

$$f_1 = \frac{20.5}{7/4} = 11.71 \text{ см}$$

Погрешность:

$$\varepsilon_f = \sqrt{(\sqrt{2} \cdot \sigma x / (x_2 - x_1))^2 + \left(\frac{\frac{y \sigma x}{y_1^2}}{\frac{y_2}{y_2'} - \frac{y_1}{y_1'}}\right)^2} \approx 0.75$$

$$\sigma_f = 1.5 \cdot 11.71 = 8.8 \text{ см}$$

Погрешность получилась огромная, поскольку у нас оказалось 2 совершенно разных значения для одной и той же линзы

Пока мы не можем точно сказать, чему равняется значение для линзы, перейдем к следующему способу для измерения фокусного расстояния

(b) Метод Бесселя

$s_1, \text{ см}$	$s'_1, \text{ см}$	$s_2, \text{ см}$	$s'_2, \text{ см}$	$L, \text{ см}$	$l, \text{ см}$
15	55.5	57.5	13.5	71	41

Рис. 4: Усредненные данные, полученные методом Бесселя для 1 линзы

$$f_1 = \frac{71^2 - 42^2}{4 \cdot 71} = 11.53 \text{ см}$$

$a_0, \text{ см}$	$a', \text{ см}$	$l, \text{ см}$
14.5	13.5	8

Рис. 5: Данные, полученные методом Бесселя для рассеивающей линзы

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a'} - \frac{1}{a_0 - l} = \frac{(a_0 - l)a'}{a_0 - l - a'} = \frac{6.5 \cdot 13.5}{6.5 - 13.5} = -12.54 \text{ см}$$

Погрешность:

$$\varepsilon_f = \sqrt{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{\sqrt{L^2 + l^2}}{L^2 - l^2}\right)^2 + \left(\frac{L^2 \frac{(2\sigma x)}{L}}{L^2}\right)^2} = 0.05 \text{ см}$$

$$\sigma_f = 0.05 \cdot 11.53 = 0.6 \text{ см}$$

$$f = 11.53 \pm 0.6 \text{ см}$$

$$f = -12.54 \pm 0.6 \text{ см}$$

2. Определение фокусных расстояний тонких линз с помощью зрительной трубы  
 Рассеивающая линза:

	Линза 1	Линза 2
1 сторона	12	14.5
2 сторона	11.5	14.5

$$a_0 = 28 \text{ см}$$

$$l = 15.5 \text{ см}$$

$$f = a_0 - l = 12.5 \text{ см}$$

$$f = 12.5 \pm 0.6 \text{ см}$$

Инструментальную погрешность считаем равной 0.5 см из-за не совсем точных измерений (неточно определены центры линз, идет смещение из-за рейтеров)

Итого получаем:

Линза	f, см	D, см <sup>-1</sup>
1 (собирающая)	11.53	0.087
2 (собирающая)	14.5	0.069
3 (рассеивающая)	-12.54	0.080

3. Определение фокусного расстояния и положения главных и фокальных плоскостей сложной оптической системы

y, см	y <sub>1</sub> ', см	y <sub>2</sub> ', см	x <sub>1</sub> , см	x <sub>1</sub> ', см	x <sub>2</sub> , см	x <sub>2</sub> ', см
2	8.5	3	12.5	40	9.5	33

- (а) Найдем главные фокусные расстояния системы:

Более реалистичное значение для фокусного расстояния  $f_{1\Sigma} \approx 9 \text{ см}$

4. Нахождение главных фокусов системы с помощью зрительной трубы:

$$F_{1\Sigma} = 6.5 \pm 0.5 \text{ см}$$

$$F_{2\Sigma} = 4.6 \pm 0.5 \text{ см} \quad (\text{когда линзы поменяли местами})$$

5. Определим вычислительно значения для  $H_1, H_2, F_1, F_2, f_2$

$$H_1 = \frac{f_1 \cdot l_{12}}{l_{12} - f_1 - f_2} = 3.1 \text{ см}$$

$$H_2 = \frac{f_2 \cdot l_{12}}{l_{12} - f_1 - f_2} = 3.9 \text{ см}$$

$$F_1 = f_1 \left( 1 + \frac{f_1}{l_{12} - f_1 - f_2} \right) = 5.0 \text{ см}$$

$$F_2 = f_2 \left( 1 + \frac{f_2}{l_{12} - f_1 - f_2} \right) = 4.2 \text{ см}$$

$$f_\Sigma = \frac{f_1 f_2}{l_{12} - f_1 - f_2} = 8.1 \text{ см}$$

6. Определим характеристики систем с помощью чертежа:

$$f_{1\Sigma} = 6.7 \pm 0.2 \text{ см}$$

$$f_{2\Sigma} = 6.6 \pm 0.2 \text{ см}$$

$$F_{1\Sigma} = 5.0 \pm 0.2 \text{ см}$$

$$F_{2\Sigma} = 4.4 \pm 0.2 \text{ см}$$

Видим, что на чертеже значения рассчитаны достаточно точно

### Выводы:

1. Мы нашли фокусные расстояния для 3-х линз 3 разными способами: Методом Аббе, Бесселя и с помощью зрительной трубы

$$f_1 = 11.5 \pm 0.6 \text{ см}$$

$$f_2 = 14.5 \pm 0.5 \text{ см}$$

$$f_2 = 12.5 \pm 0.5 \text{ см}$$

2. Нашли характеристики сложных систем с помощью зрительной трубы и с помощью чертежа

$$f_{1\Sigma} = 6.7 \pm 0.2 \text{ см}$$

$$f_{2\Sigma} = 6.6 \pm 0.2 \text{ см}$$

$$F_{1\Sigma} = 5.0 \pm 0.2 \text{ см}$$

$$F_{2\Sigma} = 4.4 \pm 0.2 \text{ см}$$