

### 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.

#### Теоретическая часть

**Измерение фокусного расстояния по методу Аббе** основано на определении поперечного увеличения для нескольких (не менее двух) различных положений предмета, находящегося на оптической оси исследуемой оптической системы. На рис. 1 представлена соответствующая схема эксперимента. Фокусное расстояние системы можно выразить

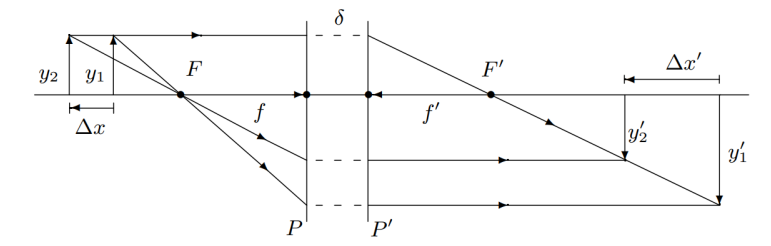


Рис. 1:

через положения предмета и соответствующие увеличения следующим образом:

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

Здесь  $\Delta x = x_2 - x_1$  – смещение предмета,  $\Delta x' = x'_2 - x'_1$  – соответствующее ему перемещение изображения,  $\Delta(y'/y) = y_2/y'_2 - y_1/y'_1$  – приращение поперечного увеличения, а  $\Delta(y'/y)$  – приращение величины, обратной поперечному увеличению. Для повышения точности измерений следует выбирать такие смещения  $\Delta x$ , чтобы увеличения заметно отличались друг от друга. С целью уменьшения случайной ошибки, возникающей при фокусировке изображения, измерения следует проводить несколько раз, усредняя полученные данные.

**Определение фокусного расстояния собирающих линз и сложных оптических систем по методу Бесселя.** Схема метода Бесселя для случая, когда  $n = n'$  и  $f' = -f$ , представлена на рис. 2. Она основана на том, что при заданном расстоянии  $L$  между предметом и экраном представляет собой квадратное уравнение относительно расстояния  $s$  от главной плоскости пространства предметов до предмета ( $s < 0$ ):

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

имеющее при условии  $L > 4f + \delta$  решения  $s_1$  и  $s_2$ , показанные на рис. 2, где  $\delta$  – расстояние между главными плоскостями системы (линзы).

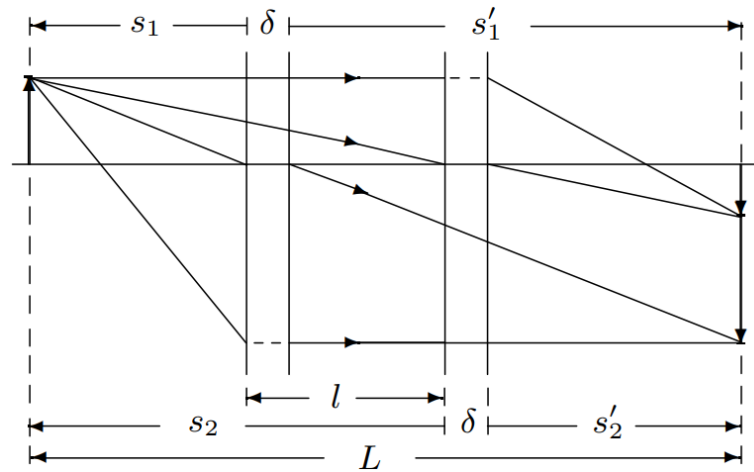


Рис. 2:

С учётом симметрии и направлений измерения расстояний, положения предметов определяются соотношениями  $s'_2 = -s_1$  и  $s'_1 = -s_2$ . Для расстояния  $L$  между предметом и экраном и расстояния  $l$  между двумя положениями системы (линзы) получаем:  $L - \delta = s'_1 - s_1$ ,  $l = -s_2 + s_1 = s_1 + s'_1$ . Отсюда следует, что

$$s_1 = -\frac{1}{2}(L - \delta - l), \quad s'_1 = \frac{1}{2}(L - \delta + l).$$

После несложных преобразований находим выражение

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

## Результаты и обработка

1. Измеряем фокусы линз, полученные данные приведены в таблице 1. Для рассеивающей линзы 4.5  $l = 197$  мм  $a_0 = 290$  мм

$$f = l - a_0 = (-93 \pm 2) \text{ мм.}$$

2. Для линзы 4.2 измерим фокусное расстояние методом Бесселя ( $L = 600$  мм), полученные данные собраны в таблице 2. Оценка по формуле тонкой линзы:

$$f_{\text{тл}} = \frac{1}{\frac{1}{s_1} + \frac{1}{L-s_1}} = (126.3 \pm 0.2) \text{ мм;}$$

оценка методом Бесселя:

$$f_{\text{мб}} = \frac{L^2 - l^2}{4L} = (124.8 \pm 0.6) \text{ мм.}$$

3. Для той же линзы 4.2 измерим фокусное расстояние методом Аббе, полученные данные собраны в таблице 3.

$$f_1 = \frac{\Delta x'}{\frac{y_1}{y_0} - \frac{y_2}{y_0}} = (123 \pm 2) \text{ мм;} \quad f_2 = \frac{\Delta x}{\frac{y_0}{y_2} - \frac{y_0}{y_1}} = (127 \pm 3) \text{ мм}$$

Тогда:

$$f = \frac{f_1 + f_2}{2} = (125 \pm 2) \text{ мм}$$

4. Определим увеличение телескопа Галилея, собранного из исследуемых линз (линзы 4.5, 4.3)

$$\gamma_{\text{эксп}} = \frac{a}{a_0} = \frac{100/300}{57/310} = (1.8 \pm 0.1)$$

$$\gamma_{\text{теор}} = \frac{f_{\text{об}}}{f_{\text{ок}}} = \frac{180}{93} = (1.9 \pm 0.1)$$

$$D_{\text{об}} = (14.0 \pm 0.5) \text{ мм}, D_{\text{ок}} = (7.0 \pm 0.5) \text{ мм} \quad \gamma = \frac{D_{\text{об}}}{D_{\text{ок}}} = (2.0 \pm 0.1)$$

5. Оценим увеличение микроскопа, собранного из исследуемых линз (линзы 4.1, 4.2,  $L = (38.00 \pm 0.05) \text{ см}$ ,  $a = (40.0 \pm 0.5) \text{ мм}$ ,  $a_0 = (17 \pm 0.5) \text{ мм}$ )

$$\gamma_{\text{эксп}} = \frac{a}{a_0} \frac{L}{f_{\text{кол}}} = (2.3 \pm 0.1)$$

$$\gamma_{\text{пр}} = \frac{L - f_{\text{ок}}}{f_{\text{ок}}} \frac{\Delta}{f_{\text{об}}} = (2 \pm 0.1)$$

Таблица 1: Фокусы собирающих линз

№	$f_1$ мм	$f_2$ мм	$f$ мм	$\Delta$ мм
4.1	80	83	81.5	2
4.2	130	132	131.0	1
4.3	183	179	181.0	2
4.4	257	252	254.5	3

Таблица 2: Метод Бесселя

$s_1$ мм	$s_2$ мм	$l$ мм
181	430	249
180	423	243

Таблица 3: Метод Аббе

$y_0$ мм	$y_1$ мм	$y_2$ мм	$\Delta x$	$\Delta x'$
20	72	46	20	160