

## 4.1.1 Изучение центрированных оптических систем

Александр Романов Б01-107

### 1 Введение

#### 1.1 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.

#### 1.2 В работе используются

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

### 2 Работа

### 3 Центрировка оптической системы

Из имеющегося набора отберём собирающие линзы. Для этого держа линзу в одной руке, получим на ладони другой руки изображение удалённой лампы. Таким же образом определим их приблизительные фокусные расстояния.

Л1	Л2	Л3	Л4
$F = 9.5 \pm 0.5 \text{ cm}$	$F = 12.5 \pm 0.5 \text{ cm}$	$F = 11.5 \pm 0.5 \text{ cm}$	рассеивающая

На одном конце оптической скамьи установим осветитель со стрелкой и вплотную к нему - экран на рейтере. Отрегулируем высоту так, чтобы его центр совпадал с центром яркого пятна от осветителя.

Отцентрируем собирающую линзу. Для этого отодвинем экран от осветителя и разместим в промежутке рейтер с собирающей линзой Л1. Передвигая линзу и экран вдоль скамьи получим на экране чёткое изображение

предмета-стрелки. Закрепим рейтеры. Сместя линзу с помощью поперечных салазок и по высоте, приведём изображение к центру экрана.

Отцентрируем все положительные линзы, добавляя их к системе последовательно (не убирая уже отцентрированные).

### 3.1 Определение фокусных расстояний тонких линз при помощи экрана

Вспользуемся методом Аббе.

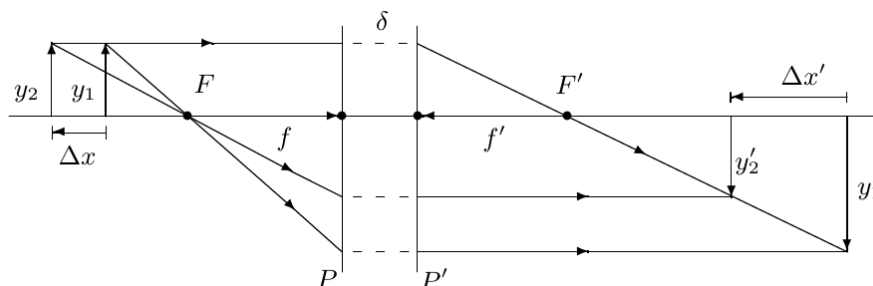


Рис. 1: Схема для метода Аббе

Закрепим собирающую линзу Л1 между осветителем и экраном. Перемещая осветитель вдоль скамьи, получим на экране резкое изображение предмета при двух различных положениях источника и экрана. Результаты ( $y_0 = 1 \text{ cm}$ ):

№	a, cm	b, cm	y1, cm
1	$20 \pm 1$	$44 \pm 1$	$1.5 \pm 0.1$
2	$13 \pm 1$	$112 \pm 1$	$9 \pm 0.1$

Отсюда получим фокусное расстояние:

$$F_1 = \frac{a_2 - a_1}{y_0/y_2 - y_0/y_1} = (12.6 \pm 1.0) \text{ cm}$$

$$F_1 = \frac{b_2 - b_1}{y_2/y_0 - y_1/y_0} = (9.0 \pm 1.0) \text{ cm}$$

Второй результат кажется более правдоподобным, т.к. близко совпадает с измеренным до этого. Неточность первого можно объяснить неточностью измерения расстояния  $a$ .

Определим фокусное расстояние отрицательной линзы. Сначала с помощью Л1 получим на экране увеличенное изображение предмета и измерим расстояние от центра линзы до экрана ( $a = 19 \pm 1 \text{ cm}$ ). Затем между собирающей линзой и экраном разместим рассеивающую линзу и, отодвигая

экран от линзы, найдём действительное изображение предмета, образованного системой линз. Измерим расстояние от рассеивающей линзы до экрана ( $b = 55 \pm 1 \text{ cm}$ ) и расстояние между линзами ( $l = 27 \pm 1 \text{ cm}$ ). Отсюда определим фокусное расстояние линзы Л4:

$$\frac{1}{F_4} = \frac{1}{b} - \frac{1}{a-l} \Rightarrow F_4 = (6.9 \pm 0.5) \text{ cm}$$

### 3.2 Определение фокусных расстояний тонких линз с помощью зрительной трубы

Настроим трубу на бесконечность. Поставим собирающую линзу Л1 на расстоянии от предмета примерно равном фокусному. На небольшом расстоянии от линзы закроем трубу, настроенную на бесконечность и отцентрируем её по высоте. Передвигая линзу вдоль скамьи, получим в окуляре зрительной трубы чёткое изображение предмета. При этом расстояние между предметом и серединой тонкой линзы равно фокусному. Получим значение

$$F_1 = (9.5 \pm 0.5) \text{ cm}$$

Проделаем то же самое для Л2:

$$F_2 = (13.0 \pm 0.5) \text{ cm}$$

Для определения фокусного расстояния рассеивающей линзы используем схему на Рис.2

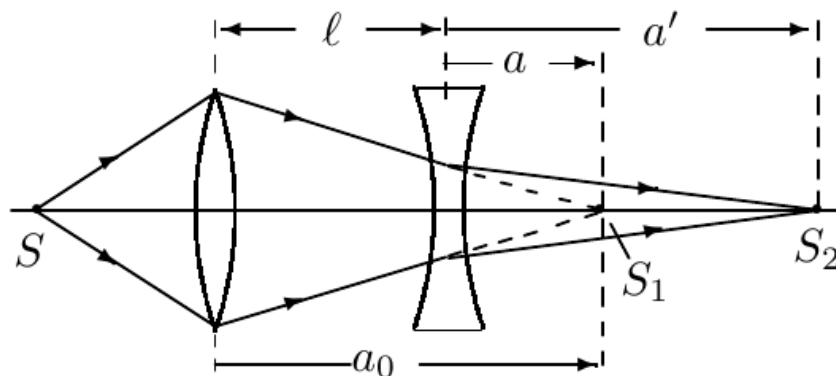


Рис. 2: Измерение фокусного расстояния рассеивающей линзы

Сначала получим на экране увеличенное изображение предмета с помощью Л2. Измерим расстояние между линзой и экраном ( $a_0 = 35 \pm 0.5 \text{ cm}$ ). Разместим сразу за экраном трубу, настроенную на бесконечность, и закрепим её. Уберём экран и поставим на его место исследуемую рассеивающую

линзу Л4. Отцентрируем световой пучок. Перемещая рассеивающую линзу, найдём в окуляре зрительной трубы резкое изображение предмета. Измерив расстояние между линзами ( $l = 30 \pm 1 \text{ см}$ ), найдём фокусное расстояние рассеивающей линзы:

$$F_4 = l - a_0 = (5.0 \pm 0.5) \text{ см}$$

Сведём результаты всех измерений фокусных расстояний в одну таблицу:

Способ	F_1, см	F_2, см	F_3, см	F_4, см
Проецируя изображение на ладонь	$9.5 \pm 0.5$	$12.5 \pm 0.5$	$11.5 \pm 0.5$	-
Аббе	$9.0 \pm 1.0$	-	-	$6.9 \pm 0.5$
Зрительная труба	$9.5 \pm 0.5$	$13.0 \pm 0.5$	-	$5 \pm 0.5$

Все результаты довольно близко совпадают друг с другом. Значения, полученные методом Аббе, вызывают больше всего сомнений. Это может быть связано с неточностью измерения расстояния и тем что в ходе эксперимента было тяжело понять в какой момент изображение достигает наибольшей чёткости.

### 3.3 Определение фокусного расстояния и положения главных и фокальных плоскостей сложной оптической системы

Для создания сложной оптической системы установим в центре оптической скамьи две тонкие собирающие линзы Л1 и Л2, сблизив их на минимально возможное расстояние. Закрепим рейтеры и измерим расстояние между центрами линз ( $l_{12} = 4.5 \pm 0.5 \text{ см}$ ).

Для определения фокусного расстояния системы методом Абе расположим экран на дальнем конце скамьи. Перемещая осветитель вдоль скамьи, получим на экране резкое изображение предмета. Измерим расстояние от предмета до первой линзы и величину изображения ( $y_1 = 4.7 \pm 0.1 \text{ см}$ ). Передвинем источник на  $\Delta x = 1 \pm 0.5 \text{ см}$ . При этом изображение передвинется на  $\Delta x' = 49 \pm 1 \text{ см}$ . Изображение достигнет размера  $y_2 = 11.3 \pm 0.1 \text{ см}$ . Вычислим фокусное расстояние системы:

$$F_{2\Sigma} = \frac{\Delta x}{y_0/y_1 - y_0/y_2} = 8 \pm 1.0 \text{ см}$$

$$F_{2\Sigma} = -\frac{\Delta x'}{y_1/y_0 - y_2/y_0} = 7.4 \pm 1.0 \text{ см}$$

Результаты совпадают в пределах погрешности. При этом:

$$-\frac{1}{F_{2\Sigma}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{l_{12}}{f_1 f_2} \Rightarrow F_{2\Sigma} = 6.8 \pm 0.8 \text{ см}$$

Результат близок к полученному выше.

Для нахождения положений главных фокусов систему уберём экран, закрепим зрительную трубу за второй линзой, пододвинем осветитель к первой линзе и отцентрируем систему. Медленно отодвигая осветитель от системы, сначала найдём резкое изображение поверхности стекла в окуляре зрительной трубы, а затем, последовательно уменьшая размер пятна и перемещая пятно в помощью винта поперечных салазок линзы, настроимся на изображение предмета. Определим положение переднего главного фокуса системы относительно первой линзы, измерив расстояние от этой линзы до предмета:

$$F_{1\Sigma} = 3.0 \pm 0.5 \text{ cm}$$

Поменяем линзы местами, сохранив неизменным расстояние между их центрами и повторим измерения, тем самым определив положение второго главного фокуса системы:

$$F_{2\Sigma} = 6.0 \pm 0.5 \text{ cm}$$

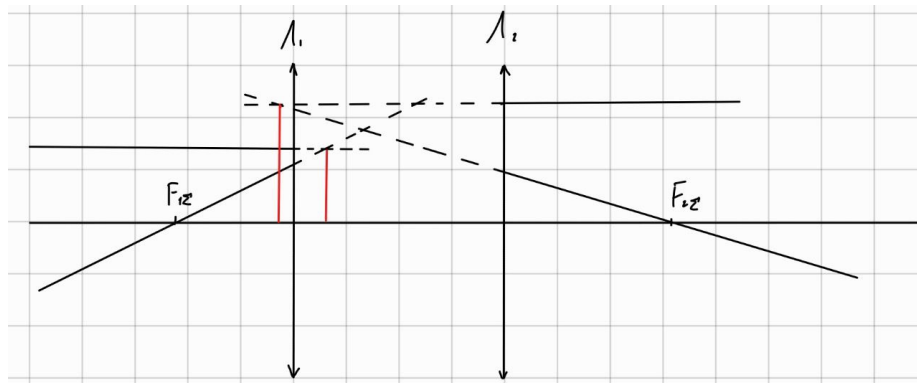


Рис. 3: Чертёж оптической системы

## А. Основные aberrации оптических систем

### 3.4 Сферическая aberrация

Для качественного наблюдения сферической aberrации расположим осветитель и экран на дальних концах скамьи. Установите плосковыпуклую линзу ЛЗ на расстоянии  $a_1 = 11 \text{ cm}$ . Наденем на неё маску минимального размера (диафрагму диаметром  $2h = 1 \text{ cm}$ ). Перемещая линзу, получим на удалённом экране резкое изображение предмета. Расстояние от линзы до изображения:

$$a'_1 = 110 \pm 1 \text{ cm}$$

Установим маску максимального диаметра ( $2h = 4 \text{ cm}$ ), передвигая экран снова получим резкое изображение предмета. Расстояние от линзы

до изображения:

$$a'_2 = 94 \pm 1 \text{ см}$$

Заметим, что расстояние от линзы до изображения сильно изменилось. Это и есть проявление аберрации.

## 4 Выводы

В результате выполнения работы:

1. Были изучены способы измерения фокусного расстояния линз и оптической системы.
2. Были измерены фокусные расстояния наших линз несколькими способами:

Способ	F_1, см	F_2, см	F_3, см	F_4, см
Проецируя изображение на ладонь	$9.5 \pm 0.5$	$12.5 \pm 0.5$	$11.5 \pm 0.5$	-
Аббе	$9.0 \pm 1.0$	-	-	$6.9 \pm 0.5$
Зрительная труба	$9.5 \pm 0.5$	$13.0 \pm 0.5$	-	$5 \pm 0.5$

3. Было проведено наблюдение эффекта оптических аберраций.