

Изучение центрированных оптических систем

Батарин Егор

18 февраля 2021 г.

Аннотация

В работе используются: оптическая скамья, набор линз, экран, осветитель со шкалой, зрительная трубка, диафрагма, линейка

1 Теория

1. Метод Аббе

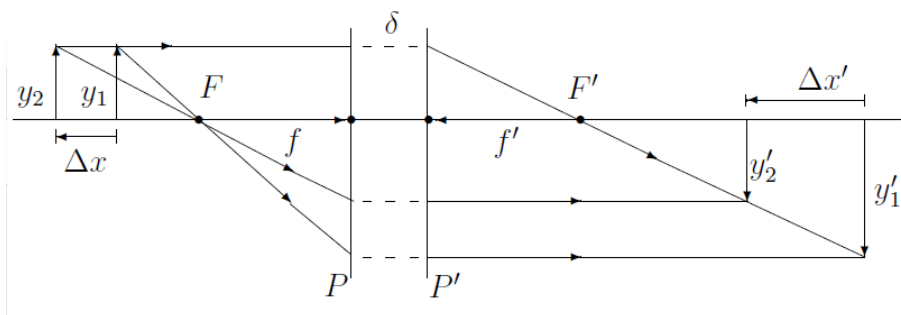


Рис. 1: Измерение фокусного расстояния по методу Аббе

Можно определить фокусное расстояние, перемещая предмет, по формуле

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

Для повышения точности стоит выбирать большие смещения, чтобы увеличение заметно отличалось

2. Метод Бесселя

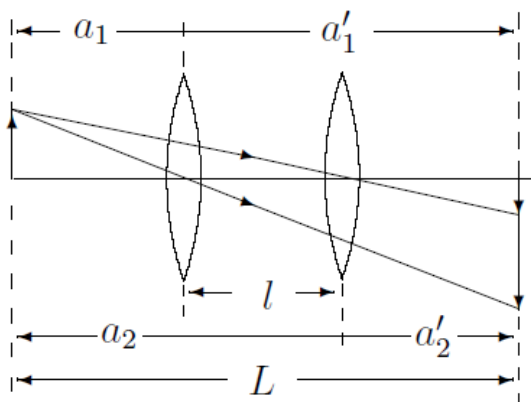


Рис. 2: Измерение фокусного расстояния по методу Бесселя

Итоговая используемая формула

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

То есть достаточно измерить L, l , при которых на экране видны чёткие изображения.

3. Измерение фокусного расстояния тонкой собирающей линзы

$$f = \frac{ab}{b+a}$$

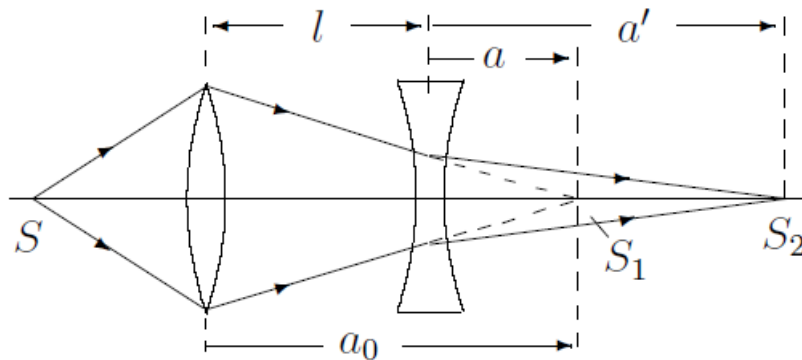


Рис. 3: Фокусное расстояние для собирающей линзы

$$f = l - a_0$$

4. Сферическая абберация

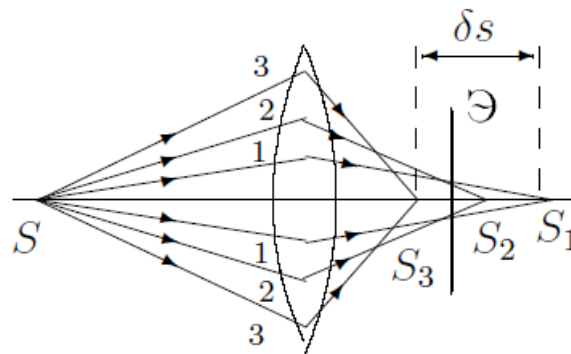


Рис. 4: Сферическая абберация

Продольную аберацию линзы считаем, как

$$\delta s(r) = s(r) - s(0).$$

По наклону прямой далее найдём показатель преломления стекла линзы n .

2 Выполнение

1. Измерение фокусного расстояния по методу Абеля

Все расстояния измеряются в миллиметрах.

Из данных таблицы по формуле Аббе получаем два значения для фокусных расстояний $f = 127$ и $f' = 130$.

Как видим, обе формулы дают похожие результаты, которые совпадают в пределах погрешностей.

Δx	$\Delta x'$	$y_1 = y_2$	y'_1	y'_2
365	39	20	4	10

2. Измерение фокусного расстояния рассеивающей линзы с помощью зрительной трубы.

В обоих случаях $a_0 = 420$. Для двух разных сторон получаем расстояния $l = 333$ и $l' = 329$. Для этих расстояний посчитаем соответствующие фокусные расстояния $f = -87$, $f = -91$.

3. Измерение фокусного расстояния сложной системы линз

Δx	$\Delta x'$	$y_1 = y_2$	y'_1	y'_2
118	71	20	9	28

Имеем соответствующую таблицу для метода Аббе. Из нее получаем формулы для фокусных расстояний $f = 78$ и $f' = 75$. Можно сопоставить полученные значения с формулой для системы линз:

$$\frac{1}{f_{\text{сист}}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{|l_{12}|}{f_1 f_2}$$

Из данной формулы получается значение $f_{\text{сист}} = 91$. Оно существенно отличается от значений выше. Причина заключается в неточном вычислении фокусных расстояний отдельных линз.

4. Нахождение положения главных фокусов линз

Для нахождения положения главного фокуса $F_{1\Sigma}$ будем передвигать осветитель так, чтобы получить резкое изображение предмета в окуляре зрительной трубы. Получим таким образом $F_{1\Sigma} = 69$. Далее переставим местами линзы, сохраняя расстояния между линзами l_{12} . Чтобы получить четкое изображение предмета, пришлось пододвинуть осветитель вплотную к первой линзе, поэтому можно сказать, что $0 \leq F_{2\Sigma} \leq 20$.

3 Обсуждение погрешностей

Данный эксперимент имеет определенное количество недостатков с точки зрения точности вычислений, выполненных на его основе:

- 1) Спектр света осветителя включает в себя довольно широкий диапазон частот, из-за чего, из-за дисперсии, нельзя точно определить, в каком месте находится резкое изображение предмета - возникает хроматическая аберрация. Эта ошибка порядка одного сантиметра.
- 2) Метка на осветителе была размазана, что доставляет погрешности при измерении размера предмета и изображения.
- 3) Линзы являются толстыми, потому нельзя точно определить необходимые расстояния, скажем, от предмета до линзы.
- 4) Форма линзы не является идеальной гиперболической - возникает сферическая аберрация.

Метод Аббе позволяет решить 3 проблему - в нем измеряются разности Δx и $\Delta x'$, так что можно взять произвольную фиксированную точку на линзе и от нее отсчитывать расстояния - разница измеренных расстояний будет постоянна. Поскольку абсолютная погрешность значительно меньше измеренных расстояний, то относительная погрешность будет мала.

Метод Аббе, однако, не решает проблему 2, так как пришлось измерять абсолютные размеры стрелки и изображения. Он также не решает проблемы 1 и 4. Для решения проблемы 1, можно нанести на линзу пленочный фильтр, выделяющий монохроматический свет определенной частоты. Для решения проблемы 4, можно поставить на осветитель диафрагму и увеличить его яркость, чтобы изображение не было слишком тусклым.