

Определение кардинальных элементов сложной оптической системы

Цель работы: определить главные фокусные расстояния и положения главных плоскостей центрированной оптической системы, состоящей из 2-х положительных линз.

Решаемые задачи:

- приобрести навыки юстировки центрированных оптических систем;
- освоить методы измерения фокусных расстояний собирающих линз;
- пронаблюдать экспериментально зависимость вида изображения от положения предмета относительно фокусного расстояния линзы.
- освоить методы расчета сложных центрированных оптических систем.

Оптические элементы и аппаратура:

1. Оптический рельс с держателями (рейтерами)
2. лампа накаливания в корпусе и блок питания
3. асферический конденсор со штативом для диафрагмы
4. полупрозрачный экран
5. 2 собирающие линзы с фокусными расстояниями $f = 150$ мм, 200 мм
6. диафрагма с отверстием в виде стрелки
7. рулетка длиной 2 м.

Порядок выполнения работы.

1. Установить на оптическом рельсе лампу накаливания, держатель с первой линзой и экран. В держатель для диафрагм, закрепленный на корпусе лампы, вставить диафрагму с отверстием в виде стрелки. Определить фокусное расстояние первой линзы. Для этого получить изображение предмета (стрелки) на экране и измерить расстояния от линзы до предмета ($-a_1$) и от линзы до изображения (a_2). Повторить эти измерения 6 – 8 раз для различных положений линзы. Так как расстояния $-a_1$ и a_2 связаны соотношением $1/a_2 - 1/a_1 = 1/f_2$, то фокусное расстояние первой линзы f_2 можно определить по графику зависимости величины $1/a_2$ от $1/(-a_1)$.
2. Аналогичным образом определить фокусное расстояние второй тонкой линзы.
3. Установить на оптическом рельсе обе линзы так, чтобы держатели, в которых они закреплены, плотно соприкасались друг с другом. При этом расстояние между линзами становится порядка $6,5$ см. Определить способом Бесселя главное фокусное расстояние F полученной оптической

системы. Для этого установить расстояние L между предметом и экраном 70 – 80 см. Перемещая систему вдоль оптической скамьи, найти положение системы, при котором на экране образуется увеличенное изображение. Измерить расстояние от предмета до первой линзы ($-a_1$), рис. 1а. Далее найти положение системы, соответствующее уменьшенному изображению предмета, и вновь измерить расстояние от предмета до первой линзы ($-a_2$), рис.1б. Определить расстояние S , на которое пришлось переместить систему: $S = (-a_2) - (-a_1)$.

4. Фокусные расстояния системы можно определить по формуле Бесселя:

$$F_2 = -F_1 = \frac{(L - e)^2 - S^2}{4(L - e)}, \quad (1)$$

где e – расстояние между главными плоскостями H и H' . Эту величину необходимо рассчитать, например, матричным методом. Вывод формулы (1) приведен в приложении.

5. Построением определить положения главных плоскостей и фокусов системы, состоящей из двух положительных линз, фокусные расстояния которых были измерены в задании 1 и 2. Сравнить полученные результаты.

Приложение

Вывод формулы Бесселя для сложных оптических систем.

С помощью оптической системы (ОС) на экране получается действительное изображение предмета (рис.1а). Пусть L – расстояние от предмета до изображения, $(-a_1)$ - расстояние от предмета до главной плоскости H , a_1' - расстояние от главной плоскости H' до изображения, e – расстояние между главными плоскостями.

Тогда $L = a_1' + e - a_1$ и, следовательно, $a_1' = (L - e) + a_1$.

Для данной ОС
$$\frac{1}{a_1} - \frac{1}{a_1'} = -\frac{1}{F_2}$$

Подставив в последнее соотношение a_1' , получим квадратное уравнение

$$a_1^2 + (L - e)a_1 + (L - e)F_2 = 0 \quad (2)$$

дискриминант которого $D = \sqrt{(L - e)^2 - 4F_2(L - e)}$.

Если $(L - e) > 4F$, то уравнение имеет два вещественных корня

$$a_1 = \frac{-(L - e) + \sqrt{D}}{2} \quad \text{и} \quad a_2 = \frac{-(L - e) - \sqrt{D}}{2}.$$

А это означает, что существуют два положения оптической системы (ОС), одно из которых соответствует увеличенному (рис.1а), а другое - уменьшенному изображению предмета (рис.1б). Расстояние между объектом и экраном (L) остается неизменным.

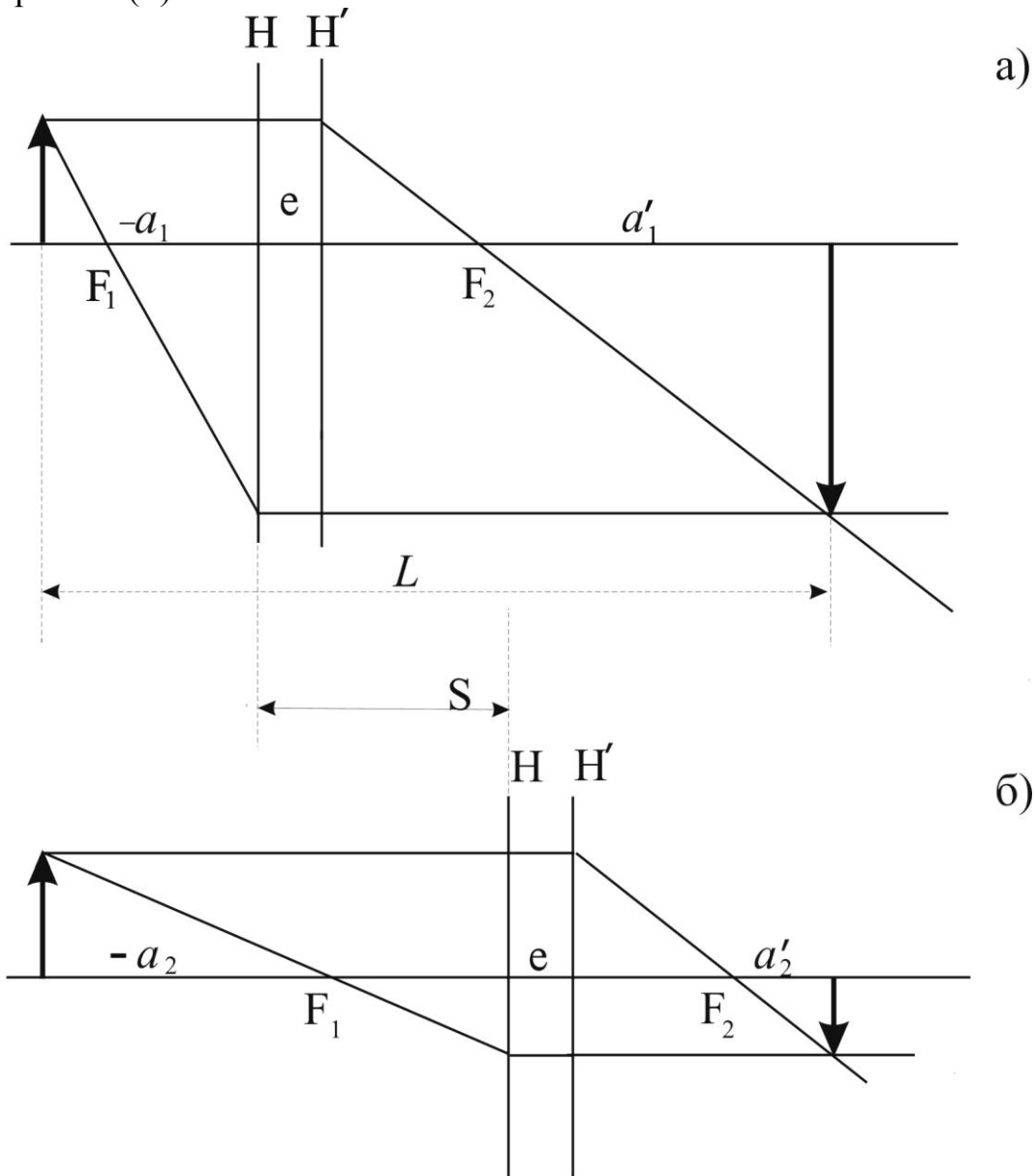


Рис.1 К выводу формулы Бесселя.

Поскольку a_1 и a_2 - отрицательные величины, причем $|a_2| > |a_1|$, положительная величина S - расстояние между передними главными плоскостями для первого и второго положений (ОС) (см. рис.1) равна

$$S = a_1 - a_2 = \sqrt{(L - e)^2 - 4F_2(L - e)}. \quad (3)$$

Отсюда $F_2 = \frac{(L - e)^2 - S^2}{4(L - e)} = -F_1.$

Контрольные вопросы:

- 1.Центрированная оптическая система (ЦОС)*
- 2.Кардинальные элементы ЦОС. Построение изображений в ЦОС.*
- 3.Тонкая линза. Оптическая сила линзы.*
- 4.Методы определения фокусных расстояний собирающих и рассеивающих линз.*
- 5. Матричный метод расчета центрированных оптических систем.*