
Московский Физико-Технический Институт
(государственный университет)

Лабораторная работа по курсу общей физики № 4.1.1

Изучение центрированных оптических систем

Автор:

Филиппенко Павел Б01-001



Долгопрудный, 2021

Теоретическая справка

Определение фокусных расстояний положительных и отрицательных линз и положений главных плоскостей сложной оптической системы

Оптическую систему называют **центрированной**, если центры всех поверхностей лежат на одной прямой, которую называют **главной оптической осью системы**.

Световые пучки называются **гомоцентрическими**, если, выйдя из одной точки и пройдя оптическую систему, пучки или их продолжения снова сходятся в одной точке.

Идеальной оптической системой называют систему, в которой сохраняется **гомоцентричность** пучков и изображение геометрически подобно предмету

Общий вид сложной оптической системы изображен на рис. 1.

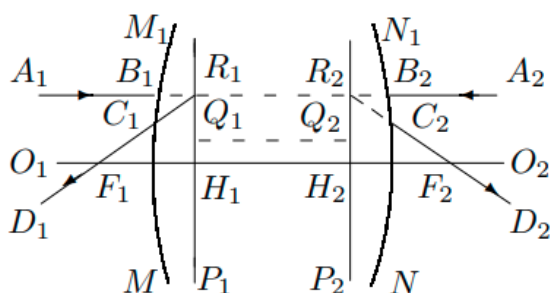


Рис. 1: сложная оптическая система

Пусть MM_1 и NN_1 – крайние поверхности, ограничивающие оптическую систему, а O_1O_2 – главная оптическая ось. Точку F_2 называют **задним фокусом системы** (фокусом в пространстве изображений). Плоскость, перпендикулярная O_1O_2 и проходящая через точку F_2 , называется **задней фокальной плоскостью**. Точку F_1 называют **передним фокусом системы** (фокусом в пространстве предметов).

Продолжим теперь C_1D_1 и C_2D_2 до пересечения с продолжениями A_1B_1 и A_2B_2 и отметим точки пересечения R_1 и R_2 . Плоскости P_1 и P_2 называются **главными плоскостями**, а точки

H_1 и H_2 – **главными точками системы**. Расстояния от главных точек до фокусов называются **фокусными расстояниями**: $f_1 = H_1F_1$, $f_2 = H_2F_2$. В том случае, когда с обеих сторон системы находится одна и та же среда (например, воздух), $f_1 = f_2 = f$.

Соотношения между величинами при построении изображения в толстой линзе удовлетворяют уравнению:

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

Способы определения фокусного расстояния тонкой положительной линзы

1. Исходя из формулы тонкой линзы (1), полагая $\delta = 0$.
2. Пусть расстояние между предметом и экраном превышает $4f$. При этом всегда найдутся два таких положения линзы, при которых на экране получают отчётливые изображения предмета (в одном случае уменьшенное, в другом – увеличенное).

Из соображений симметрии $a_1 = a'_2$ и $a'_1 = a_2$. Тогда путем математических преобразований можно получить:

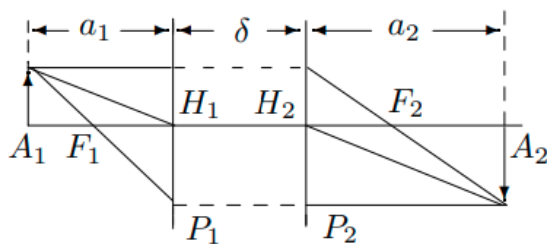


Рис. 2: Построение изображения в сложной оптической системе

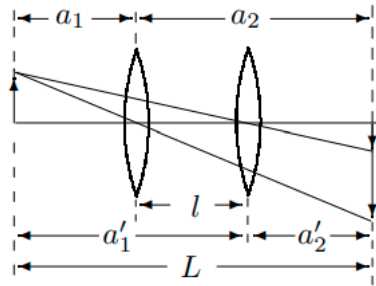


Рис. 3: Нахождение фокусов тонкой собирающей линзы

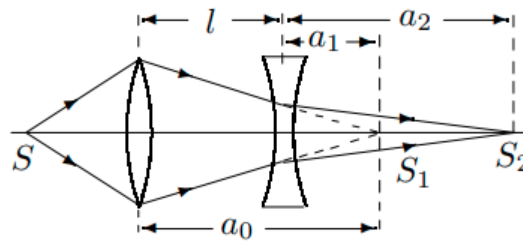


Рис. 4: Изображение в рассеивающей линзе

$$a_1 = \frac{L - l}{2}; \quad a_2 = \frac{L + l}{2} \Rightarrow$$

откуда с помощью (1) получаем:

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

3. Фокусное расстояние тонкой положительной линзы можно определить с помощью зрительной трубы, настроенной на бесконечность, то есть на параллельный пучок лучей.

Способы определения фокусного расстояния тонкой отрицательной линзы

1. С помощью вспомогательной собирающей линзы получаем действительное изображение и используем формулу тонкой линзы.
2. С помощью зрительной трубы, установленной на бесконечность.

Определение фокусного расстояния и положения главных плоскостей сложной оптической системы

Фокусное расстояние толстой положительной линзы определяют по методу Аббе рис. 5.

Линейные увеличения для разных положений объекта:

$$\Gamma_1 = \frac{y_1}{y} = \frac{f}{x_1}; \quad \Gamma_2 = \frac{y_2}{y} = \frac{f}{x_2}$$

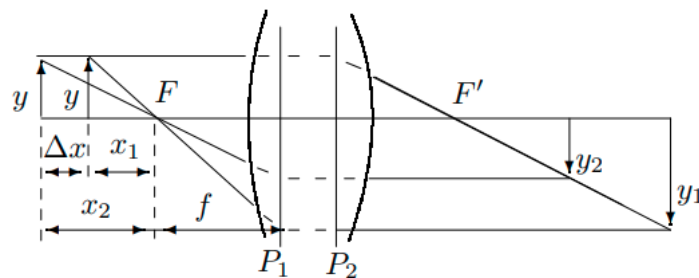


Рис. 5: метод Аббе

тогда нетрудно получить соотношение:

$$f = \frac{\Delta x}{1/\Gamma_1 - 1/\Gamma_2} \quad (3)$$

Для нахождения главных плоскостей системы недостаточно знать фокусное расстояние, нужно определить ещё положения главных фокусов. Это можно сделать при помощи зрительной трубы, настроенной на бесконечность.

Теоретически фокусное расстояние f_0 сложной системы, состоящей из двух тонких положительных линз, можно рассчитать, если известны фокусные расстояния каждой линзы и расстояние между их центрами l_{12} :

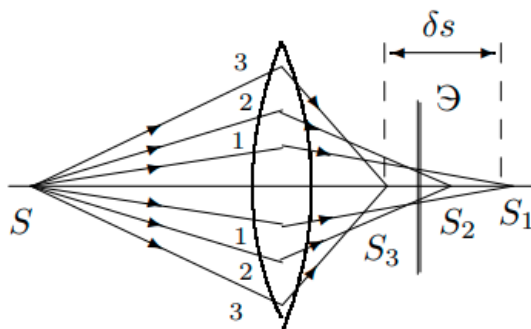
$$\frac{1}{f_0} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{|l_{12}|}{f_1 f_2} \quad (4)$$

Недостатки (абберации) реальных оптических систем

В идеальных оптических системах лучи, вышедшие из одной точки объекта, пересекаются в одной и той же точке изображения независимо от угла испускания и от длины волны света. В реальных системах – из-за несовершенства линз – такая зависимость наблюдается. Основными погрешностями линз являются сферическая и хроматическая абберации.

Сферическая абберация

Сферическая абберация возникает при преломлении широких (не параксиальных) пучков свет а на сферических поверхностях линз.



Сферическую абберацию характеризуют с помощью так называемой **продольной абберации** δs равной расстоянию между точками пересечения крайних и центральных лучей с главной оптической осью.

Для лучей, проходящих на расстоянии h от центра линзы, расстояние s выражается соотношением:

$$s(h) = \frac{R}{n-1} \left(1 - \frac{n^2 h^2}{2R^2} \right) \quad (5)$$

Рис. 6: Сферическая абберация

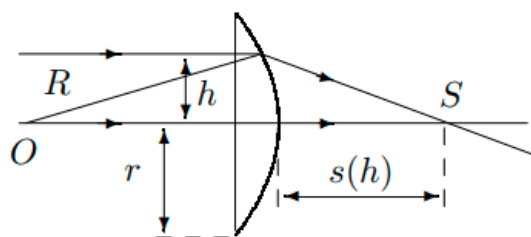


Рис. 7: Сферическая абберация плоско-выпуклой линзы