

Геометрическая оптика

Тема 4 лекция 6

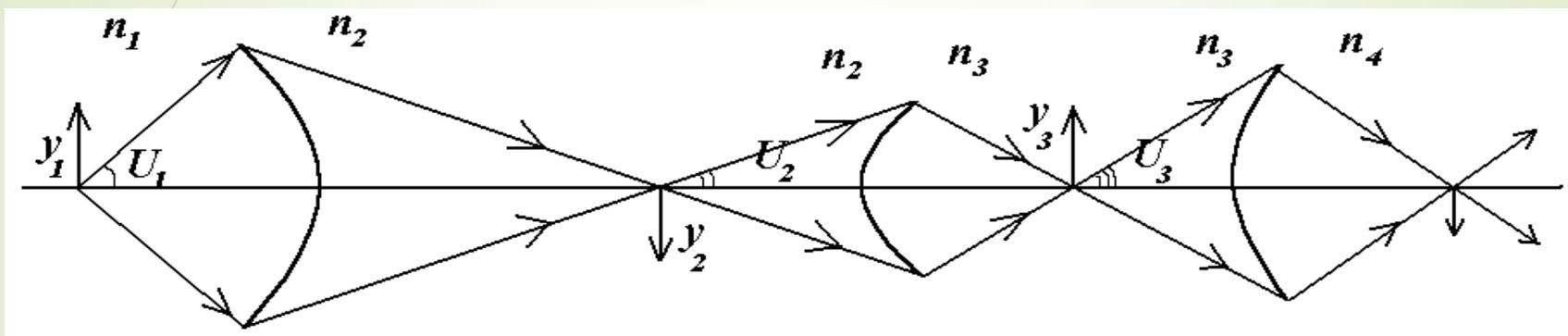
Построение изображения в оптических системах.
Центрированная оптическая система Кардинальные
элементы центрированной оптической системы.
Построение изображений в оптических системах.

Аберрации оптических систем (сферическая,
хроматическая, кома, астигматизм, дисторсия).

Простейшие (лупа, зрительная труба, бинокль)
оптические приборы. Современные оптические
приборы (конфокальный и ближнепольный
микроскопы, адаптивная оптика, современные
телескопы)

Центрированная оптическая система

Если центры всех сферических поверхностей лежат на одной прямой, система называется центрированной



Лучи считаются параксиальными если углы i_1, i_2, U_1, U_2 - малы

$$i_1 = \frac{y_1}{-S_1} \quad i_1 = \frac{-y_2}{S_2} \quad \frac{i_1}{i_2} = \frac{y_1 S_2}{y_2 S_1} \quad -U_1 = \frac{h}{S_1}$$

$$U_2 = \frac{h}{S_2} \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{S_2}{S_1}$$

Закон преломления для малых углов

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

получим:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{y_1 U_1}{y_2 U_2}$$

Для центрированной системы, состоящей из ряда сферических поверхностей, разделяющих сферы с показателями преломления n_1, n_2, n_3 , имеет место соотношение

$$y_1 n_1 U_1 = y_2 n_2 U_2 = y_3 n_3 U_3 = \dots$$

Главные плоскости системы

Рассмотрим центрированную систему, состоящую из ряда сферических поверхностей.

Прямая « OO' » проходящая через центры всех поверхностей называется оптической осью системы.

Пусть на систему падает луч « PA », параллельный оптической оси. Пройдя систему, он пересечет ось в некоторой точке « F' ». Луч, идущий вдоль оси системы, проходит систему не преломляясь, т.к. на каждую поверхность он падает в направлении нормали. Таким образом, два луча « PA » и « OO' », после прохождения системы пересекаются в одной точке « F' »

Для параллельных лучей при прохождении через систему гомоцентризм не нарушается

Все лучи параллельные оптической оси системы после преломления пересекутся в той же точке « F' »

Можно убедиться в существовании точки « F », которая обладает тем свойством, что лучи исходящие из нее, после преломления в системе образуют пучок параллельных оптической оси. Точки « F » и « F' » называются главными фокусами системы. Центрированная система, точно также как и одна поверхность, обладает двумя главными фокусами.

Луч, проходящий через первый главный фокус пройдя систему, идет параллельно оптической оси на расстоянии которое зависит от угла наклона луча « FB ». Можно подобрать такой угол наклона, чтобы луч « $A'P'$ » проходил на расстоянии « h » от оси. Лучи « PA » и « FB » пересекаются в некоторой точке « M », лучи « $A'P'$ » и « $B'F'$ » - в некоторой точке « M' ». Положение точек « M » и « M' » определяется только ходом лучей до системы и после ее прохождения. Для нахождения этих точек не нужно знать ход лучей внутри системы. Точки « M » и « M' » лежат на одинаковом расстоянии « h » от оси системы.

Плоскости, перпендикулярные к оптической оси и проходящие через точки « M » и « M' » называются главными плоскостями системы. Точки пересечения главных плоскостей с оптической осью, называются главными точками системы. Точки « H' » и « H » - главные точки. Точки « M » и « M' » - точки пересечения одной и той же пары лучей, следовательно, они являются сопряженными точками. Главными плоскостями системы являются две такие сопряженные плоскости, сопряженные точки которых лежат на одинаковом расстоянии « h » от оптической оси.

Зная положение главных плоскостей и главных фокусов системы, по заданному положению объекта, можно построить его изображение.

Расстояния, определяющие положение объекта и его изображения, а также фокусные расстояния отсчитываем от главных плоскостей

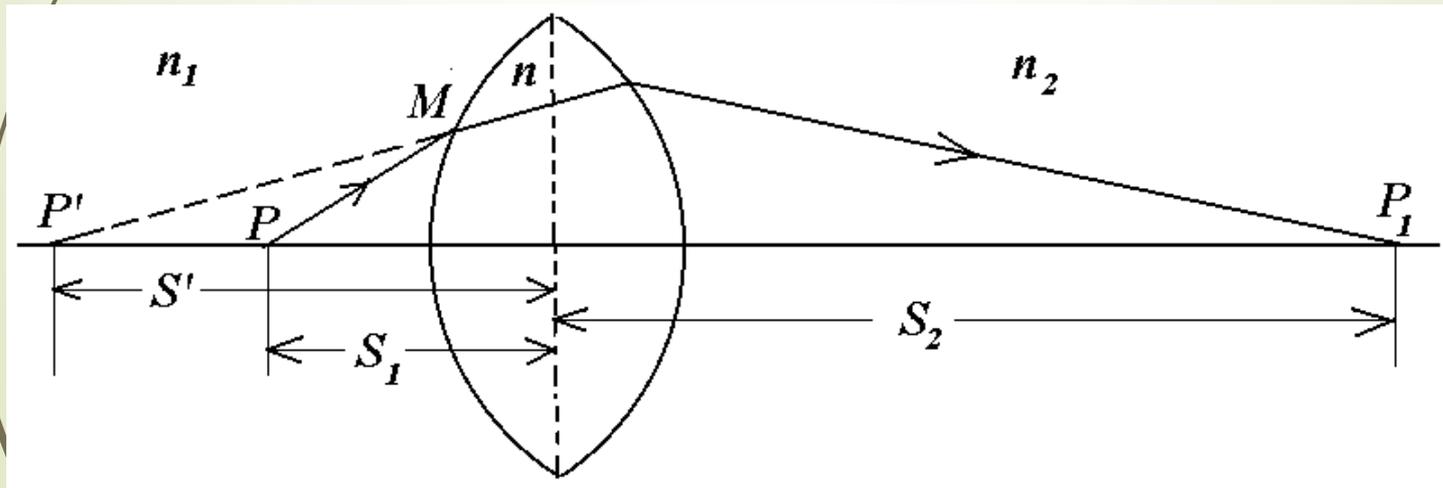
Главные плоскости является сопряженными плоскостями системы, которым соответствует линейное увеличение, равное единице.

Линзы. Общая формула линзы.

Простейшая центрированная система состоит из двух сферических поверхностей. Система двух сферических поверхностей ограничивающих прозрачное для света вещество, называется линзой. Если расстояние между вершинами обеих поверхностей « d » мало по сравнению с расстояниями « S » и « S' » - линза называется тонкой.

Середина отрезка « O_1O_2 » - называется оптическим центром линзы. Любой параллельный пучок лучей, проходящий через центр, практически не испытывает преломления. Луч, проходящий через оптический центр называется осью линзы. Ось проходящая через центры обеих поверхностей называется главной осью, остальные - побочными осями

Рассмотрим линзу, имеющую радиусы кривизны « R_1 » и « R_2 » из материала с показателем преломления « n ». Показатель преломления среды « n_1 »



Если бы была только одна первая поверхность, то в результате преломления световых лучей изображение предмета « P » получили бы в точке « P' » на расстоянии « S' » от центра

$$\frac{n_1}{S_1} - \frac{n}{S'} = \frac{n_1 - n}{R_1} \quad (1)$$

где R_1 - радиус кривизны первой поверхности линзы

Для второй поверхности точка « P' » является мнимым изображением. Вторая поверхность позволяет получать изображение точки « P' » в некоторой точке « P_1 », на расстоянии « S_2 » от центра

$$\frac{n}{S'} - \frac{n_2}{S_2} = \frac{n - n_2}{R_2} \quad (2)$$

где R_2 - радиус кривизны второй поверхности линзы

линза окружена с двух сторон одной и той же средой $n_1=n_2$. выражение (1) и (2) можно переписать

$$\frac{n_1}{S_1} - \frac{n}{S'} = \frac{n_1 - n}{R_1}$$

$$\frac{n}{S'} - \frac{n_1}{S_2} = \frac{n - n_1}{R_2}$$

$$\frac{n_1}{S_1} - \frac{n}{S'} = -\frac{n - n_1}{R_1}$$

$$\frac{n}{S'} - \frac{n_1}{S_2} = \frac{n - n_1}{R_2}$$

$$\frac{n_1}{S_1} - \frac{n_1}{S_2} = \frac{n - n_1}{R_2} - \frac{n - n_1}{R_1}$$

$$\frac{1}{S_2} - \frac{1}{S_1} = \left(\frac{n}{n_1} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$n\left(\frac{1}{S_2} - \frac{1}{S_1}\right) = (n - n_1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

Полученная формула линзы годна для линз любой формы, при этом следует учитывать правило знаков. Точка, в которой собираются лучи, параллельные главной оптической оси, называется фокусом линзы. Плоскость, перпендикулярная к главной оптической оси, проходящая через фокус, называется фокальной плоскостью. Полученная формула позволяет определить фокусное расстояние - расстояние от центра до фокуса.

Положив « S_2 »= ∞ :
$$S_1 = f_1 = \frac{-1}{\left(\frac{n}{n_1} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)}$$

При « S_1 »= ∞ :
$$S_2 = f_2 = \frac{1}{\left(\frac{n}{n_1} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)}$$

Фокусные расстояния линзы равны по величине и противоположны по знаку.

$$f_1 = -f_2$$

Учитывая выражения, полученные для « f_1 » и « f_2 », можно придать формуле линзы следующий вид:

$$\frac{1}{\left(\frac{n}{n_1} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)}$$

$$\frac{1}{S_2} - \frac{1}{S_1} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_1} = \pm \frac{1}{f}$$

Знак плюс соответствует собирающей линзе, знак минус рассеивающей. Основной характеристикой линзы является оптическая сила. Оптической силой линзы называется величина, обратная фокусному расстоянию:

$$D = -\frac{1}{f}$$

Оптическая сила измеряется в диоптриях. Одна диоптрия – это оптическая сила линзы, фокусное расстояние которой равно 1 м.

Погрешности оптических систем

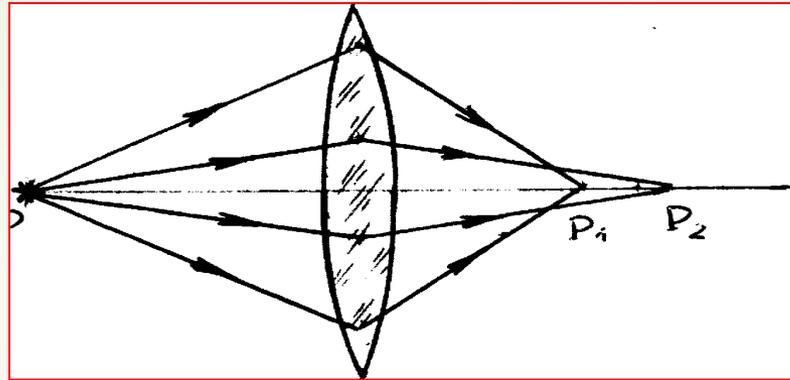
Сферическая преломляющая поверхность, точно также как центрированная система, даёт стигматическое изображение только при использовании параксиальных лучей.

Использование параксиальных лучей приводит к целому ряду неудобств:

1. Сокращение размеров предметов, изображаемых системой.
2. Малая освещенность изображения. (это объясняется тем, что световой поток пропорционален телесному углу).

По этим причинам на практике используют световые пучки, образующие с оптической осью значительные углы. Отказ от параксиальности приводит к искажению изображения - реальная оптическая система обладает aberrациями или погрешностями.

Сферическая абберация



Эта погрешность заключается в том, что края линзы сильнее отклоняют лучи, чем требуется для прохождения через изображение, созданное средней частью линзы.

Изображение точки на экране имеет вид расплывчатого пятна. Сферическая абберация устраняется за счет использования собирающих и рассеивающих линз, имеющих различные показатели преломления

Хроматическая аберрация

Показатель преломления вещества зависит от длины волны. Это явление называется дисперсией. В результате дисперсии параксиальные лучи разного цвета собираются линзой в разных точках, изображение оказывается окрашенным. Хроматическая аберрация устраняется подбором положительных и отрицательных линз, изготовленных из стекол с различной дисперсией

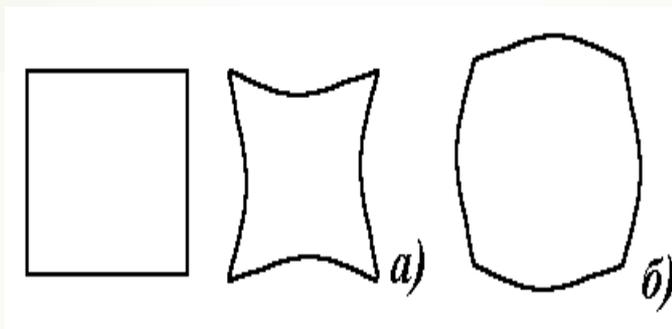
Астигматизм

Изображение точечного объекта в косых лучах имеет вид двух взаимно перпендикулярных, смещенных друг относительно друга прямолинейных отрезков.

Изображение является астигматическим. Астигматизм устраняется подбором радиусов кривизны и оптических сил

Дисторсия

Дисторсия заключается в искажении изображения за счет неодинаковости поперечного увеличения в пределах поля зрения. Рассмотрим искажение квадрата вследствие дисторсии



а) наружно образная дисторсия - имеет место, если линейное увеличение растет по мере увеличения расстояния от оси системы.

б) бочкообразная дисторсия - имеет место при уменьшении увеличения по мере удаления от оси системы.