Г Е О М Е Т Р И Ч Е С К А Я   О П Т И К А

Многие простые оптические явления, такие, например, как возникновение теней и образование изображений в оптических приборах, можно объяснить на основе законов геометрической (или лучевой) оптики. Геометрическая оптика использует представление о световых лучах – математических линиях, вдоль которых происходит распространение энергии световых колебаний. Пучки света рассматриваются как совокупности бесконечного числа независимых лучей, удовлетворяющих хорошо известным законам:

1. В прозрачной однородной среде свет распространяется прямолинейно.
2. Распространение любого светового пучка в среде не зависит от наличия других пучков света.
3. Луч, падающий на плоскую границу раздела двух однородных изотропных прозрачных сред (S_1, рис.1), отраженный луч (S_3) и нормаль (N), восстановленная к границе раздела в точке падения луча S_1, лежат в одной плоскости (*плоскость падения*). Угол падения (φ_1) равен углу отражения (φ_3).

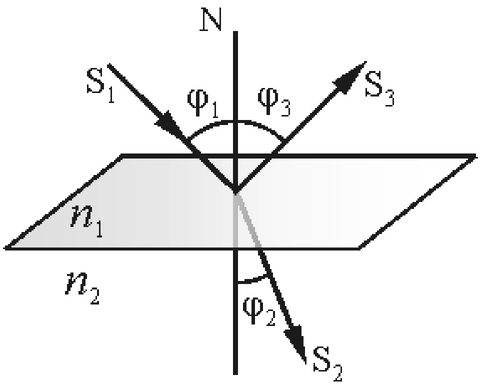

Рис.1

4. Луч, падающий на границу раздела двух однородных изотропных прозрачных сред (S_1, рис.1), преломленный луч (S_2) и нормаль N, восстановленная к границе раздела в точке падения луча S_1, лежат в одной плоскости. Углы падения φ_1 и преломления (φ_2) для монохроматического света связаны соотношением $n_1 sin\varphi_1 = n_2 sin\varphi_2$, где n_1 и n_2 – абсолютные показатели преломления сред (закон Снеллиуса).

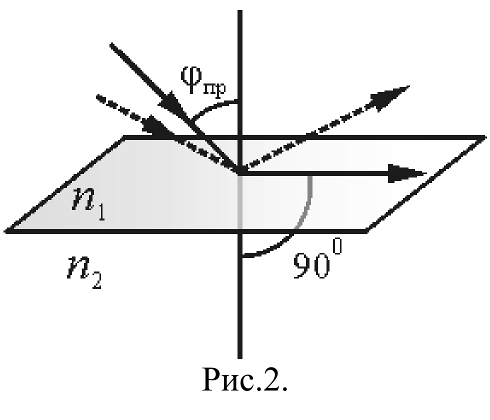

Рис.2.

При сравнении двух прозрачных веществ то из них, которое имеет больший показатель преломления, называется «оптически более плотным».

Если свет распространяется из среды оптически более плотной в оптически менее плотную ($n_1>n_2$), то в соответствие с законом Снеллиуса угол преломления будет больше угла падения (рис.2). При увеличении угла падения угол преломления растет. При достижении углом φ_1 значения $\varphi_{пр} = \arcsin(n_2/n_1)$, угол φ_2 становится равным 90^0. Этот угол падения называется *предельным*. Если свет падает на границу раздела сред под углом большим предельного (т.е. $\varphi_{пред} < \varphi_1 < \pi/2$), свет во вторую среду не проникает. Это явление называется *полным внутренним отражением* света.

Центрированные оптические системы (ЦОС).

Оптическая система, образованная сферическими отражающими и преломляющими поверхностями, называется центрированной, если центры кривизны всех поверхностей лежат на одной прямой. Эта прямая называется ***главной оптической осью*** системы.

Если пучок лучей, исходящих из какой-либо точки S, после прохождения некоторой оптической системы сходится в точке S_i, то S_i является стигматическим изображением точки S. S и S_i называются сопряженными точками.

Под идеальной оптической системой понимают такую систему, которая дает стигматическое изображение, геометрически подобное отображенному предмету. Теория таких систем становится особенно простой, когда все распространяющиеся в них лучи *параксиальны*, т.е. проходят на небольшом расстоянии от оптической оси системы и образуют с ней малые углы.

ЦОС характеризуется рядом так называемых ***кардинальных*** точек и плоскостей, задание которых полностью описывает все свойства ЦОС и позволяет пользоваться ими, не рассматривая реального хода лучей в системе.

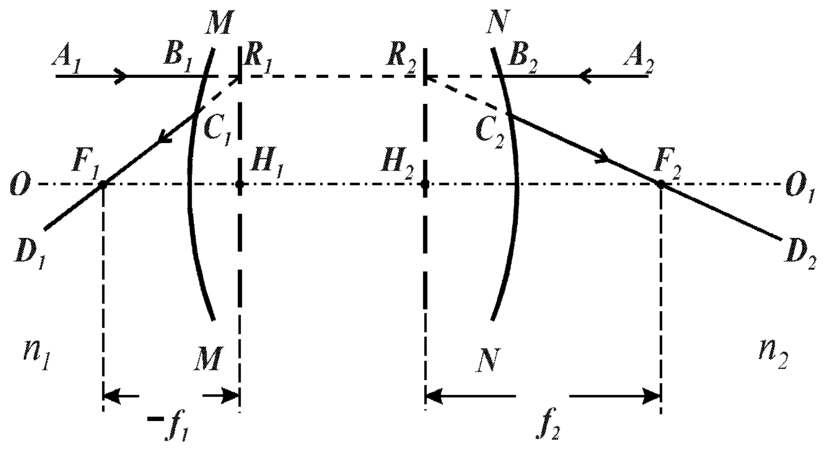

Рис.3. Кардинальные точки и плоскости центрированной оптической системы.

На рис.3 изображена некоторая ЦОС, ограниченная сферическими поверхностями *MM* и *NN*. Направим на эту систему луч A_1B_1, параллельный *главной оптической оси* OO_1. Сопряженный ему луч выйдет из системы по направлению C_2D_2 и пересечет главную оптическую ось в точке F_2 - ***заднем главном фокусе*** ЦОС. Плоскость, проходящая через F_2 и перпендикулярная главной оптической оси OO_1, называется фокальной. Точно так же луч A_2B_2 при прохождении через систему пересечет ось OO_1 в точке F_1 - ***переднем главном фокусе*** ЦОС. Лучи, исходящие из точек F_1 и F_2, после системы будут идти параллельно главной оптической оси. Продолжения лучей A_1B_1 и D_1C_1 (A_2B_2 и D_2C_2) пересекаются в точке R_1 (R_2). Плоскости, проходящие через точки R_1 и R_2 и перпендикулярные оптической оси, носят названия ***главных плоскостей***, а точки H_1 и H_2 - ***главных точек***. Точки главных плоскостей R_1 и R_2 сопряжены и изображаются с линейным увеличением +1.

Точки H_1, H_2, F_1 и F_2 являются кардинальными точками ЦОС. Расстояния от главных точек до фокусов $f_1=H_1F_1$ и $f_2=H_2F_2$ называются фокусными расстояниями системы. Главный фокус может лежать как слева, так и справа от соответствующей главной точки. Чтобы отличать эти два случая необходимо пользоваться *правилом знаков*: если отсчет отрезков производится от главных точек к фокусу *против хода* луча, то фокусное расстояние равно длине отрезка, умноженного на –1, если *по ходу* луча, то на +1. В соответствии с этим на рис.3 фокусное расстояние f_1 отрицательная величина, а f_2 – положительная. Обратим внимание, что на рисунках указываются *длины* отрезков, то есть модули соответствующих величин (например, - f_1 , f_2 , рис.3).

Число кардинальных точек в общем случае равно четырем. В некоторых частных случаях их число уменьшается, например, в тонкой линзе обе главные плоскости сливаются в одну. У телескопической системы кардинальные точки находятся на бесконечности, и поэтому построение изображения с их помощью невозможно.

В качестве кардинальных точек не обязательно пользоваться фокусами и главными точками, иногда их заменяют ***узловыми точками***. Они обладают тем свойством, что луч, проходящий через переднюю узловую точку (K_1, рис.4) и образующий с осью OO′ угол α, после преломления проходит через заднюю узловую точку (K_2) и образует с осью тот же угол α (в сопряженных точках K_1 и K_2 угловое увеличение равно +1).

Если значения показателей преломления первой и последней сред одинаковы, то узловые точки совпадают с главными.

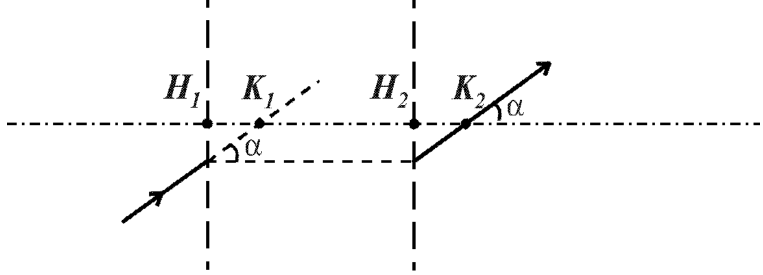

Рис.4. Узловые точки K_1 и K_2 центрированной оптической системы.

Вообще говоря, в качестве кардинальных точек можно принять две произвольно выбранные пары сопряженных точек при условии, что известно линейное или угловое увеличение, соответствующее этим парам. Однако применение таких кардинальных точек неудобно и не получило распространение на практике.

Рис.5 дает представление о том, как геометрическим построением найти изображение предмета, используя кардинальные элементы ЦОС.

Простейшей оптической системой является ***линза***, которая состоит из двух преломляющих поверхностей, разделенных оптически однородным промежутком.

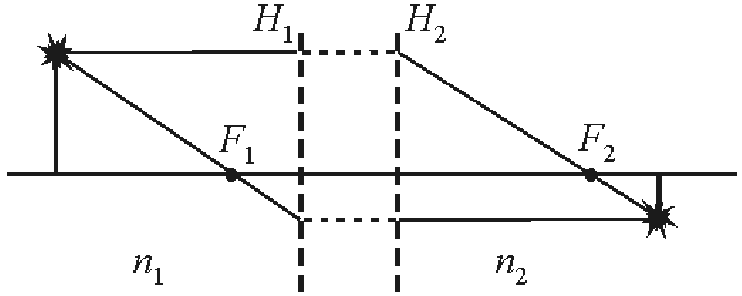

Рис.5. Ход лучей в центрированной оптической системе.

Если толщина этого промежутка мала по сравнению с радиусами кривизны преломляющих поверхностей, то линза называется *тонкой*. Главные и узловые плоскости тонкой линзы совпадают друг с другом. Пересечение этой плоскости с оптической осью называется оптическим центром линзы *O* (рис.6).

Если среды по обе стороны тонкой линзы одинаковы, то луч, проходящий через точку *O*, не преломляется, а f_2 = - f_1. Положение объекта и изображения в тонкой линзе определяются расстояниями a_1 и a_2, отсчитанными от

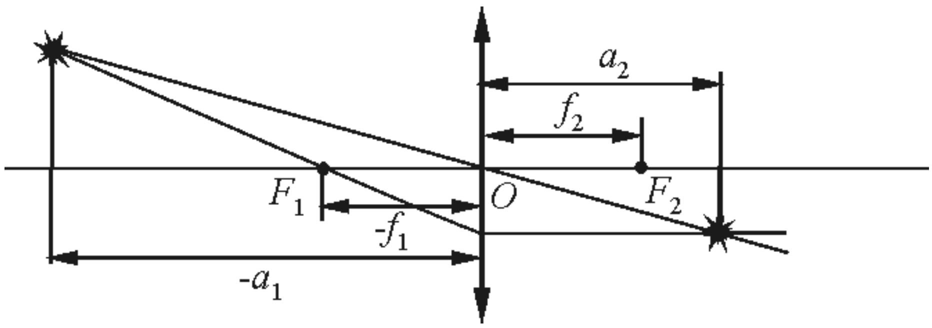

Рис.6. Ход лучей в тонкой линзе

оптического центра линзы. Они связаны между собой соотношением:

$$\frac{1}{(-a_1)} + \frac{1}{a_2} = \frac{1}{f_2} \quad . \tag{2}$$

Величины, входящие в это уравнение, являются алгебраическими. В соответствии с правилом знаков, если отсчет отрезков производится от центра линзы *против* хода луча, то длина отрезка умножается на –1, если *по ходу* луча – то на +1.