

ГЛАВА III

ЭЛЕМЕНТЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ

§ 7. Преломление и отражение на сферических поверхностях

Геометрическая (лучевая) оптика представляет собой простой приближенный метод построения изображений в оптических системах. Из каждой точки S светящегося предмета проводят пучок лучей и отыскивают точку их пересечения S' после прохождения оптической системы. Из этой точки лучи расходятся дальше, как будто бы точка являлась самостоятельным источником света. Поэтому она называется изображением светящейся точки S . Совокупность изображений всех точек светящегося объекта представляет собой изображение этого объекта, полученное с помощью данной оптической системы.

При построении изображений в геометрической оптике исходят из следующих приближений:

1. Свет в однородной среде распространяется прямолинейно (т. е. явлениями дифракции пренебрегают).

2. Отдельные лучи распространяются независимо друг от друга (т. е. интерференцией лучей пренебрегают).

3. При переходе луча из среды с показателем преломления n в среду с показателем преломления n' на границе раздела выполняется соотношение

$$n \sin i = n' \sin r \quad (7.1)$$

между углом падения i и углом преломления r . Отражение рассматривается как частный случай преломления обратно в первую среду и ход лучей определяется простой подстановкой в полученные из закона преломления (7.1) соотношения $n' = -n$. Частичное отражение лучей при преломлении и частичное поглощение их при отражении не учитываются.

4. Для простоты расчет ведется лишь для лучей, падающих и отражающихся под столь малыми углами, что для них можно пользоваться приближенными соотношениями:

$$\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha. \quad (7.2)$$

Реальный расчет сложных оптических систем, требующих высокой точности преобразования пучков света и минимального искажения изображений, связан с учетом целого ряда дополнительных факторов, которыми пренебрегают в геометрической оптике. Проектирование каждой новой оптической системы выполняется специальными многочисленными конструкторскими и расчетными отделами и требует большой затраты труда и времени. Методы же геометрической оптики могут дать лишь приближенную ориентировку и главной их задачей является качественный анализ явлений, происходящих в оптических системах, и формулировка основных понятий (фокус, оптическая сила, увеличение и т. д.).

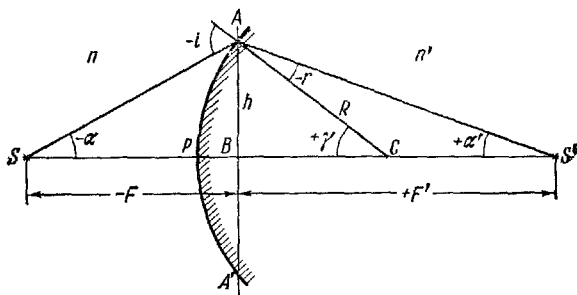


Рис. 1.34.

Рассмотрим, с этой точки зрения, простейший элемент оптической системы — сферическую границу раздела двух сред. Вывод расчетной формулы проведем алгебраически, т. е. будем приписывать всем отрезкам и углам знаки в зависимости от их направлений. Тем самым полученные результаты будут одновременно пригодны как для случая поверхности положительной кривизны (выпуклой), так и для случая отрицательной кривизны (вогнутой).

На рис. 1.34 сферическая поверхность AA' радиуса R с центром в точке C разделяет две среды с показателями преломления n и n' . Источник света расположен в точке S на расстоянии SP от этой поверхности. Луч SP перпендикулярен к поверхности и проходит далее, не преломляясь, через ее центр кривизны C . Для построения изображения S' проведем произвольный луч SA , который преломится в точке A и пойдет далее по направлению AS' . Найдем точку пересечения этого луча с первым. Если положение этой точки S' не будет зависеть от угла α , то это значит, что все лучи, идущие от S к AA' , пересекутся в одной точке S' , то есть что S' будет изображением точки S . Угол падения луча SA считаем малым, так что точки B и P чертежа должны практически совпадать друг с другом. Высоту AB обозначим через h .

Направления отрезков будем отсчитывать от точки P , по лучу — положительные, а против луча — отрицательные. Следовательно, расстояние от источника до поверхности будет

$$SP \approx SB = -F,$$

а расстояние от поверхности до изображения

$$PS' \approx BS' = +F'.$$

Углы будем отсчитывать от прямой SS' и нормалей к поверхности AA' , по часовой стрелке — положительные, а против часовой стрелки — отрицательные.

Угол $-i$, как внешний в треугольнике SAC , будет равен сумме двух внутренних, с ним не смежных углов, $-\alpha$ и $+\gamma$. Аналогично угол $+\gamma$ равен сумме углов $-r$ и $+\alpha'$. Следовательно,

$$-i = \gamma - \alpha \quad \text{и} \quad -r = \gamma - \alpha'. \quad (7.3)$$

Заменяя в законе преломления (7.1) синусы малых углов самими углами, получаем

$$n(-i) \approx n'(-r). \quad (7.4)$$

Подставим в (7.4) значения углов из (7.3):

$$n(\gamma - \alpha) = n'(\gamma - \alpha'),$$

и заменим малые углы их тригонометрическими функциями:

$\gamma \approx \frac{h}{R}$, $\alpha \approx \frac{h}{F}$, $\alpha' \approx \frac{h}{F'}$; имеем:

$$n \left(\frac{h}{R} - \frac{h}{F} \right) = n' \left(\frac{h}{R} - \frac{h}{F'} \right).$$

Сокращая на h и собирая члены, содержащие $\frac{1}{R}$, в одну часть, получаем окончательную зависимость

$$\frac{n}{F} - \frac{n'}{F'} = \frac{n-n'}{R}, \quad (7.5)$$

позволяющую определить искомое расстояние от поверхности до изображения F' , если известны расстояние от источника до преломляющей поверхности F , радиус кривизны поверхности R и показатели преломления обеих сред n и n' . Поскольку в сделанном нами приближении величина $AB = h$, а значит и угол α сократились, то все лучи, исходящие из источника S и преломляющиеся в любой точке A поверхности, должны пересекаться в одной и той же точке S' , т. е. S' действительно будет изображением S .

Разделив обе части (7.5) на n , преобразуем его к виду

$$\frac{1}{F} - \frac{n_{2,1}}{F'} = \frac{1 - n_{2,1}}{R}. \quad (7.5a)$$

Из (7.5a) видно, что положение изображения зависит не от абсолютных значений n и n' , а от их частного

$$n_{2,1} = \frac{n'}{n}, \quad (7.6)$$

представляющего собой относительный показатель преломления второй среды относительно первой (см. § 5).

Как пример применения формулы (7.5) рассмотрим еще отражение в сферическом зеркале. Подставляя $n' = -n$ и сокращая на n , получаем формулу сферического зеркала

$$\frac{1}{F} + \frac{1}{F'} = \frac{2}{R} = \frac{1}{f}. \quad (7.7)$$

Величина $f = \frac{R}{2}$ называется главным фокусным расстоянием зеркала. При $F = \infty$ будет $F' = f$, т. е. параллельные

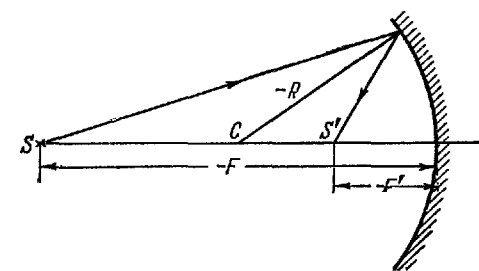


Рис. 1.35.

лучи сходятся в главном фокусе на расстоянии f от зеркала. Если же поместить источник в главный фокус, т. е. $F = f$, то $F' = \infty$ и после отражения расходящийся пучок лучей становится параллельным. На рис. 1.35 изображен случай отражения далекой точки S в вогнутом зеркале. При этом все три отрезка F , F' и R ,

входящие в формулу (7.7), считаются отрицательными и изображение S' расположено в той же среде, что и источник S , т. е. является действительным.

Для плоского зеркала $R = \infty$ и $F' = -F$, т. е. изображение мнимое и расположено симметрично за зеркалом.

§ 8. Построение изображений и дефекты линз

Линзой называется тело с определенным показателем преломления n , ограниченное двумя сферическими (иногда цилиндрическими) поверхностями. Линия, проходящая через центры кривизны обеих поверхностей, называется главной оптической осью линзы.