Изображение в линзе

Подобно зеркалу, линза создает изображения источников света. Это означает, что свет, исходящий из какой-либо точки предмета (источника), после преломления в линзе снова собирается в одну точку (изображение), независимо от того, через какую часть линзы прошли лучи. Если по выходе из линзы лучи сходятся, то они образуют *действительное* изображение. В случае же, когда прошедшие через линзу лучи расходятся, пересекаются в одной точке не сами эти лучи, а их продолжения. Изображение в этом случае *мнимое.* Заметим, что лучи или их продолжения будут пересекаться практически в одной точке, если они образуют малые углы с главной оптической осью. Все дальнейшие расчеты мы будем производить только для таких лучей.

Формула линзы

Найдем связь между расстоянием d от светящейся точки до линзы, расстоянием f от изображения этой точки до линзы, показателем преломления n материала линзы относительно окружающей линзу среды и радиусами кривизны R_1 и R_2 поверхностей, ограничивающих линзу. Сделаем это сначала для двояковыпуклой линзы* (рис. 1.91).

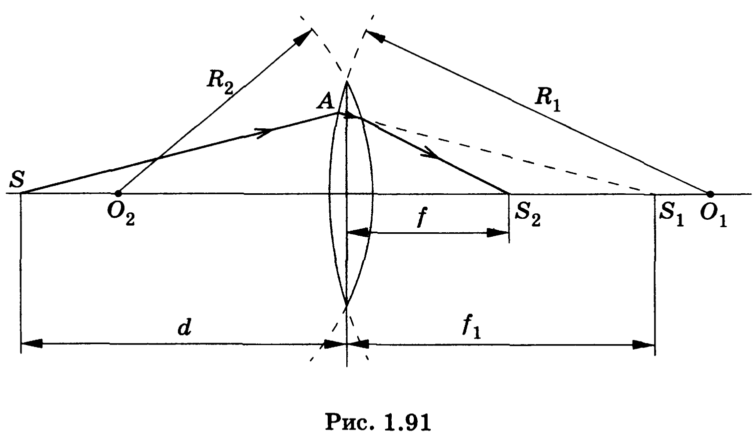

Рис. 1.91

* При выводе формулы линзы можно было бы непосредственно использовать принцип Ферма. Но проще дважды применить формулу (1.17.1).

После преломления светового луча, вышедшего из точки S, первой поверхностью он пойдет в направлении AS_1. Если бы не было второй поверхности, то изображение точки S оказалось бы в точке S_1 на расстоянии f_1 от линзы, определяемом уравнением

$$\frac{1}{d} + \frac{n}{f_1} = \frac{n-1}{R_1}. \qquad (1.18.1)$$

Но в действительности свет преломляется еще раз на второй сферической поверхности, и изображение, даваемое линзой, оказывается в точке S_2 на оптической оси на расстоянии f от линзы.

Воспользуемся обратимостью световых лучей. Если поместить источник в точку S_2, то после преломления на сферической поверхности радиусом R_2 лучи пойдут так, что их продолжения пересекутся в точке S_1, давая мнимое изображение источника. Используя формулу (1.17.1) и учитывая, что S_1 — мнимое изображение точки S_2, мы можем записать уравнение

$$\frac{1}{f} - \frac{n}{f_1} = \frac{n-1}{R_2}. \qquad (1.18.2)$$

Складывая почленно уравнения (1.18.1) и (1.18.2), получим

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right). \qquad (1.18.3)$$

Эта формула называется **формулой тонкой линзы**. Она выведена нами для двояковыпуклой линзы.

Но такие же рассуждения можно провести и для случаев, когда ограничивающая линзу поверхность является вогнутой или плоской. В случае вогнутой поверхности соответствующий член $\frac{1}{R}$ входит в формулу (1.18.3) со знаком минус. Плоская поверхность соответствует бесконечному радиусу кривизны, так что для нее $\frac{1}{R} = 0$.

Знак правой части формулы (1.18.3) определяет оптические свойства линзы. При положительной правой части линза является собирающей, при отрицательной — рассеивающей. У двояковыпуклой стеклянной линзы, находящейся в воздухе,

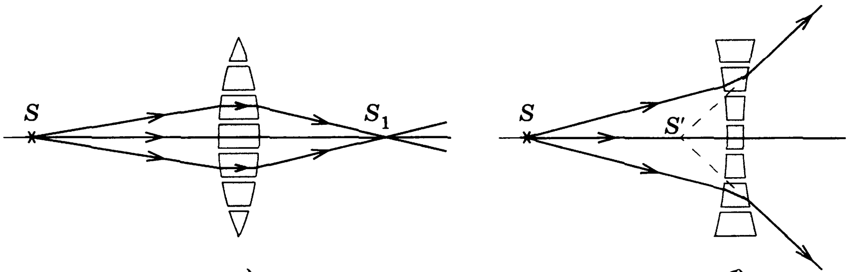

Рис. 1.92

$(n-1) > 0$ и $\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) > 0$. Она поэтому является собирающей. Это можно объяснить так. Толщина двояковыпуклой линзы увеличивается от краев к середине. Такую линзу схематично можно представить как совокупность стеклянных призм (рис. 1.92, *а*). Каждая призма отклоняет лучи к основанию. Все лучи, идущие через линзу, отклоняются в сторону ее главной оптической оси. Параллельный или слабо расходящийся пучок собирается в одну точку.

У двояковыпуклой воздушной линзы в стекле $(n-1) < 0$, а $\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) > 0$. Это — рассеивающая линза. Она отклоняет параллельный пучок от оси («рассеивает» его).

У двояковогнутой стеклянной линзы, находящейся в воздухе, $(n-1) > 0$, а $\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) < 0$. Следовательно, эта линза рассеивающая. Ее тоже можно представить как совокупность стеклянных призм (рис. 1.92, *б*).