

Построение изображений в линзах и сферических зеркалах

Н. Берюлева



Определить положение изображения, полученного с помощью линзы или зеркала, можно двумя способами – алгебраическим расчетом с помощью формулы линзы (зеркала) и геометрическим построением.

Первый способ, пожалуй, более универсален; во многих случаях, особенно в сложных оптических системах, без него не обойтись. Зато второй способ обладает важным достоинством – наглядностью. Поэтому, даже решая задачу алгебраически, мы обычно делаем чертеж, который помогает составить необходимую систему уравнений. Если же задача не слишком громоздкая, геометрическое решение – решение построением – является и более простым.

При построении изображений в тонких линзах обычно используют три характерных луча (рис. 1):

- 1) луч AA_1 проходящий через оптический центр O линзы (побочная оптическая ось), идет не преломляясь;
- 2) луч BB_1 , падающий на линзу параллельно главной оптической оси MN , преломившись, проходит*) через задний фокус F' линзы;
- 3) луч CC_1 , проходящий через передний фокус F , после преломления идет параллельно главной оптической оси линзы.

Обратите внимание, что задним фокусом F' называется точка, в которой после преломления сходятся лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси. Передний F и задний F' фокусы расположены симметрично относительно плоскости тонкой линзы. Через F проходит передняя фокальная плоскость, через F' – задняя.

Иногда удобно пользоваться такими правилами:

- 1) лучи, падающие на линзу параллельным пучком, после преломления в линзе сходятся в з а д - н е и фокальной плоскости (рис. 2);

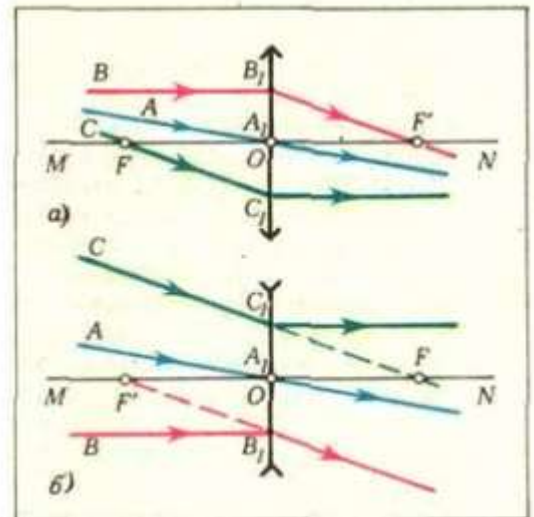


Рис. 1.

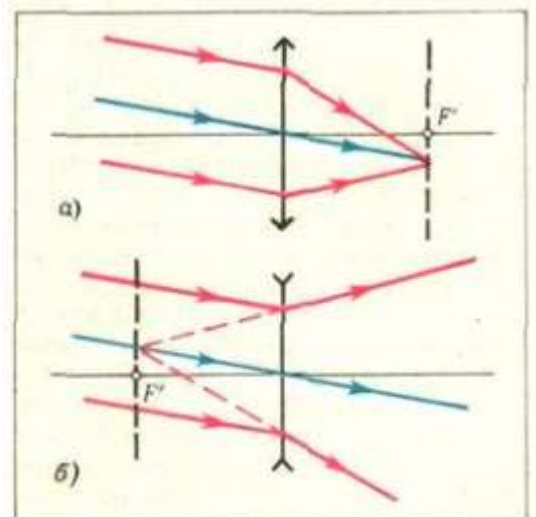


Рис. 2.

2) лучи, выходящие из линзы параллельным пучком, до встречи с линзой пересекались в передней фокальной плоскости (рис. 3).

Строго говоря, все сказанное справедливо только для параксиальных (то есть очень близких к главной оптической оси) лучей. Подробнее об этом можно прочитать в статье Е. Кузнецова «Линзы и системы линз» («Квант», 1977, № 4).

Среди оптических задач больше всего затруднений у абитуриентов вызывают задачи на построение изображений в рассеивающих линзах. По-видимому, трудности возникают у тех, кто не уяснил себе достаточно четко, что линза имеет два фокуса и что роли этих фокусов различны.

Напомним еще раз, что задний фокус — это точка на главной оптической оси линзы, где сойдутся после преломления лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси. У собирающей (положительной) линзы задний фокус F' расположен за линзой (по ходу лучей), у рассеивающей (отрицательной) — перед линзой (см. рис. 1, 2, 3). Если лучи вышли из линзы параллельно главной оптической оси, значит, перед тем как встретиться с линзой, они пересекались в переднем фокусе F . У собирающей линзы передний фокус F лежит перед линзой (по ходу лучей), у рассеивающей — за линзой.

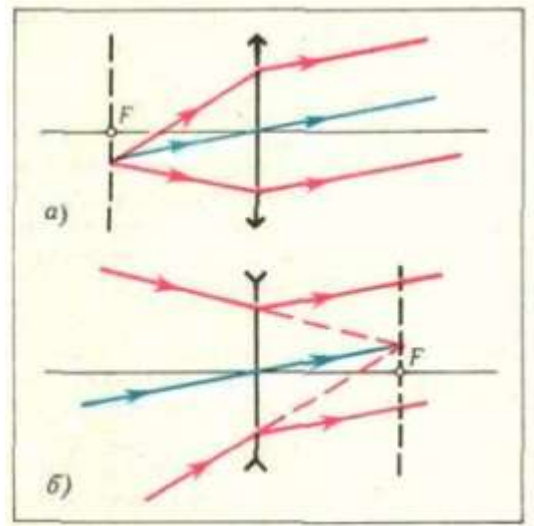


Рис. 3.

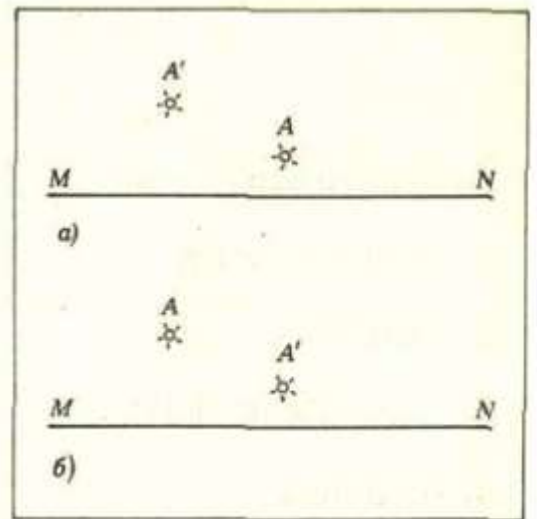


Рис. 4.

Термины «передний фокус» и «задний фокус» помогают в лаконичной форме сформулировать правила построения изображений, единые для положительной и отрицательной линз.

Рассмотрим несколько конкретных задач. Все они предлагались на вступительных экзаменах в Московский физико-технический институт.

Задача 1. Зная расположение предмета A и изображения A' относительно главной оптической оси MN линзы (рис. 4), найти построением положение фокусов линзы.

Прямая, проходящая через точки A и A' , при пересечении с осью MN дает центр линзы O (рис. 5). Перпендикуляр к оси MN , восстановленный из точки O , определяет положение плоскости линзы.

Луч AB , параллельный оси MN , преломившись в линзе, проходит через точку A' и задний фокус F' линзы. Если

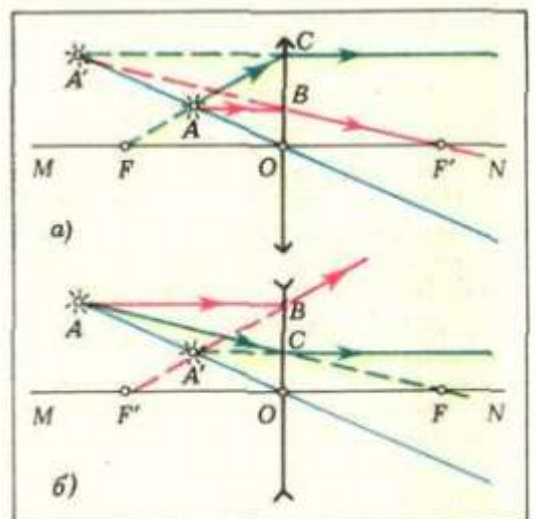


Рис. 5.

F' лежит за Линзой (рис. 5. а) – линза собирающая, если перед линзой (рис. 5, б) – рассеивающая. Симметрично относительно линзы расположен передний фокус F .

Построив луч $АС$, проходящий через передний фокус, убедимся, что он после преломления в линзе попадает в точку A' .

Задача 2. На рисунке 6 изображен луч, вышедший из рассеивающей линзы. Построить ход луча до линзы.

Проведем побочную оптическую ось параллельно лучу, вышедшему из линзы (рис. 7). Лучи, идущие после линзы параллельным пучком, до встречи с линзой пересекались в ее передней фокальной плоскости. Соединив точку A , в которой побочная ось пересекается с передней фокальной плоскостью, и точку B , в которой вышедший луч пересекается с плоскостью линзы, определим направление падающего луча $СВ$.

Задача 3. С помощью собирающей линзы получен сходящийся пучок лучей. Как пойдут лучи, если на пути пучка поставить рассеивающую линзу (рис. 8)?

Проведем побочную оптическую ось, параллельную верхнему лучу пучка (рис. 9). Параллельные лучи после линзы пересекаются в ее задней фокальной плоскости (точка A). Продолжив прямую $АВ$, найдем ход верхнего луча за линзой. Симметрично построим нижний луч пучка.

Задача 4. Рассеивающую линзу с известным расположением фокальных плоскостей распилили по диаметру. Половинки раздвинули по вертикали на расстояние h друг от друга (рис. 10). Построить изображения точки A , лежащей на оси симметрии системы.

Каждая половина линзы дает свое изображение точки A . Сначала построим изображение в верхней половине линзы. Главная оптическая ось M_1N_1 верхней половины проходит через срез линзы параллельно оси симметрии системы, O_1 – оптический центр верхней части, A_0O_1 – ее побочная оптическая ось (рис. 11).

Проведем произвольный луч $АВ$, падающий из точки A на верхнюю часть линзы, и параллельную ему побочную оптическую ось $СD$. После встречи с линзой параллельные лучи пересекаются в задней фокальной плоскости в точке E . Точка пересечения прямых $ВЕ$ и $АO_1$ определяет положение изображения A' .

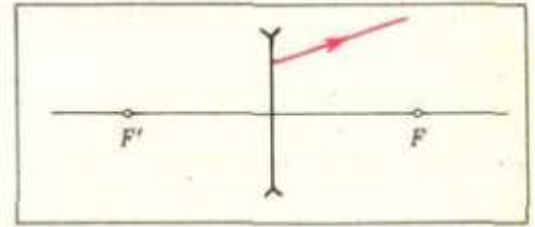


Рис. 6.

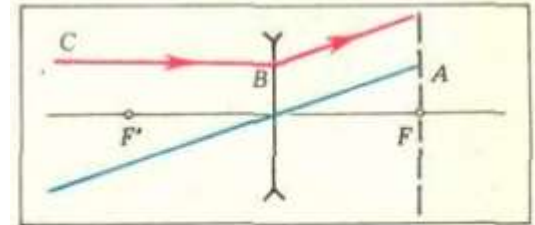


Рис. 7.

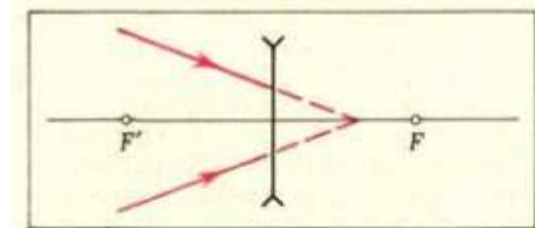


Рис. 8.

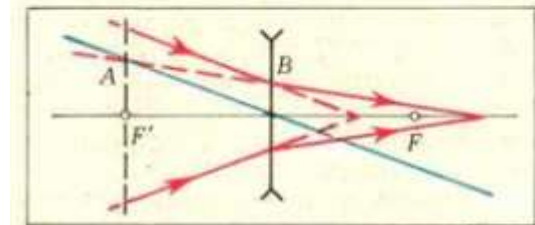


Рис. 9.

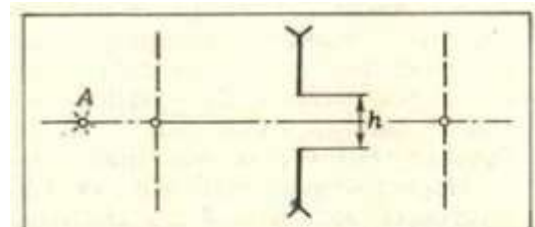


Рис. 10.

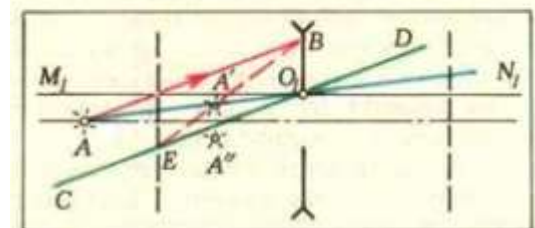


Рис. 11.

Нижняя часть линзы дает симметрично расположенное изображение A'' .

* *
*

В сферических зеркалах изображения строятся по тем же правилам, что и в линзах (рис. 12):

1) луч AO , проходящий через центр зеркала O , при отражении от зеркала не меняет своего направления;

2) луч BB_1 , падающий на зеркало параллельно главной оптической оси, отразившись, идет через фокус F зеркала (напомним, что фокус сферического зеркала расположен посередине между полюсом зеркала P и его центром O);

3) луч DF , проходящий через фокус, отразившись, идет параллельно главной оптической оси.

Удобно использовать еще один луч:

4) луч P_1P , падающий на полюс зеркала P , отражается симметрично относительно главной оптической оси OP .

Разберем такую задачу:

Задача 5. Известно расположение предмета A и его изображения A' относительно главной оптической оси MN сферического зеркала (рис. 13). Найти построением фокус зеркала.

Пересечение прямой, проходящей через точки A и A' , с осью MN дает центр сферического зеркала (рис. 14).*

Проведем отрезки AB и $A'B'$, перпендикулярные к оси MN (точки B и B' симметричны точкам A и A' соответственно). Прямые AB' и BA' , пересекаясь с осью MN , определяют полюс зеркала P .

Окружность радиуса $|OP|$ с центром в точке O определяет положение зеркала. Отражающая поверхность зеркала обращена к предмету.

Фокус зеркала F делит отрезок OP пополам.

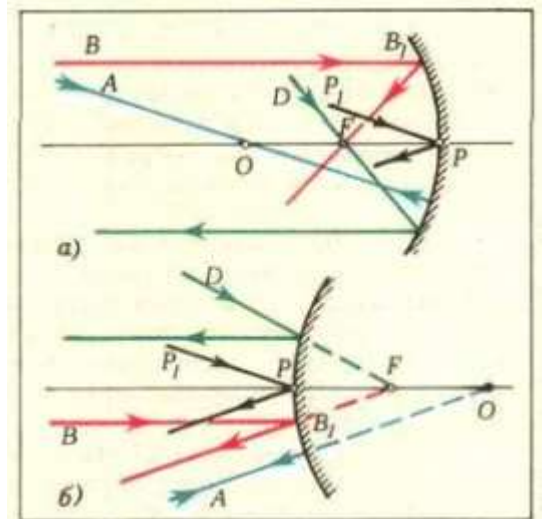


Рис. 12.

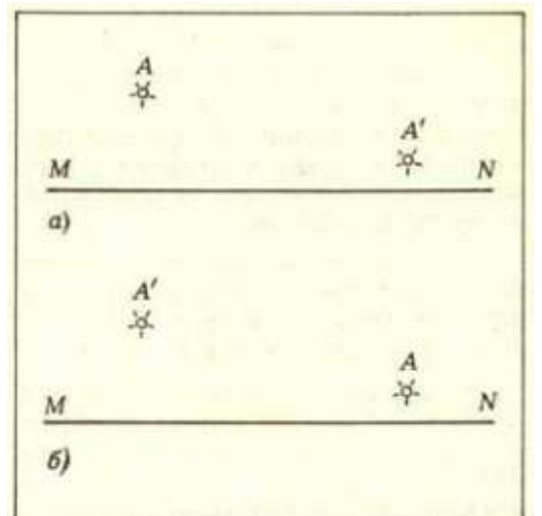


Рис. 13.

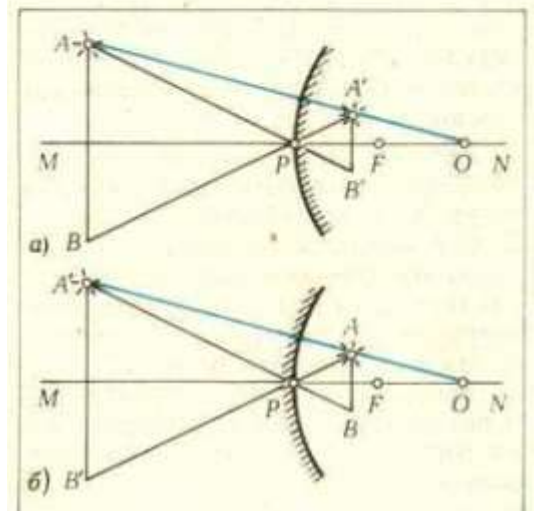


Рис. 14.

Упражнения

1. Построить изображение предмета АВ в рассеивающей линзе. Положения фокусов указаны на рисунке 15.

2. После рассеивающей линзы пучок лучей сошелся в точке А (рис. 16). Начертить ход лучей до линзы.

3. Рассеивающую линзу распилили, как показано на рисунке 17.а, середину удалили, а оставшиеся части сдвинули вплотную. Построить изображение предмета А, лежащего на оси симметрии оптической системы (рис. 17.б).

4. Известно расположение предмета А и изображения А' относительно полюса Р сферического зеркала (рис. 18). Найти положение зеркала и его фокуса.

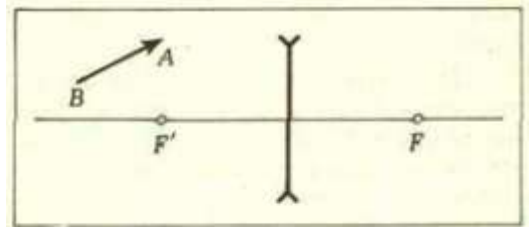


Рис. 15.

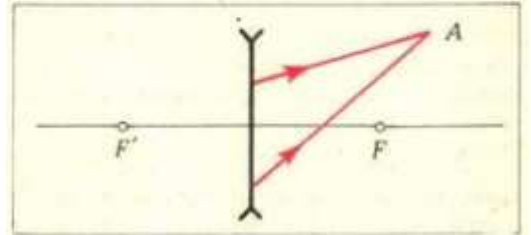


Рис. 16.

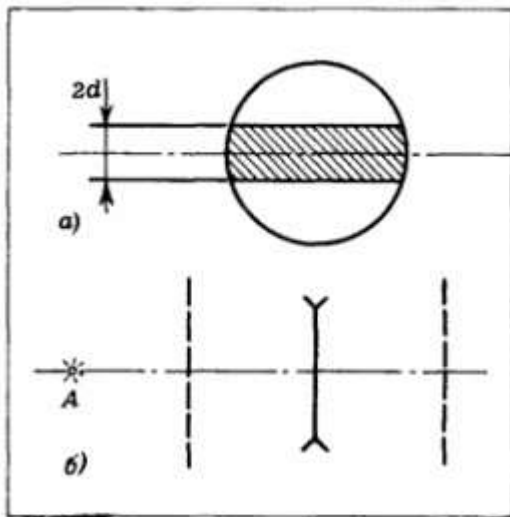


Рис. 17.

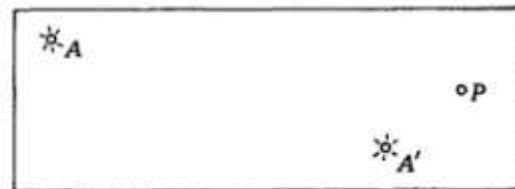


Рис. 18.