

## Линзы. Ход лучей

Темы кодификатора ЕГЭ: линзы.

Преломление света широко используется в различных оптических приборах: фотоаппаратах, биноклях, телескопах, микроскопах. . . Непременной и самой существенной деталью таких приборов является линза.

*Линза — это оптически прозрачное однородное тело, ограниченное с двух сторон двумя сферическими (или одной сферической и одной плоской) поверхностями.*

Линзы обычно изготавливаются из стекла или специальных прозрачных пластмасс. Говоря о материале линзы, мы будем называть его стеклом — особой роли это не играет.

### Двояковыпуклая линза

Рассмотрим сначала линзу, ограниченную с обеих сторон двумя выпуклыми сферическими поверхностями (рис. 1). Такая линза называется *двояковыпуклой*. Наша задача сейчас — понять ход лучей в этой линзе.

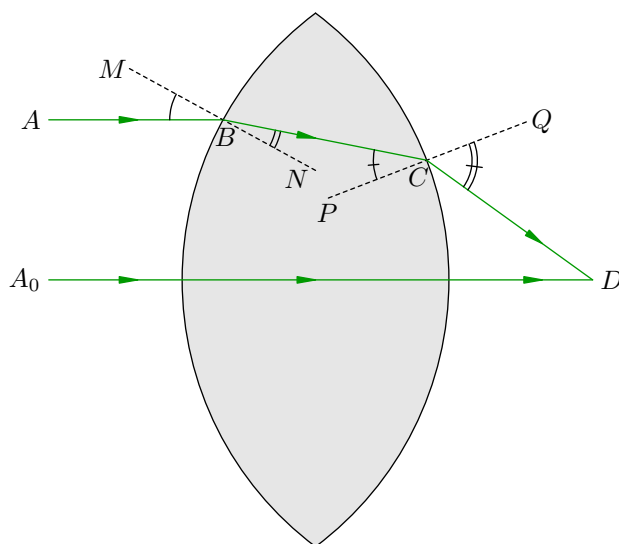


Рис. 1. Преломление в двояковыпуклой линзе

Проще всего обстоит дело с лучом, идущим вдоль *главной оптической оси* — оси симметрии линзы. На рис. 1 этот луч выходит из точки  $A_0$ . Главная оптическая ось перпендикулярна обеим сферическим поверхностям, поэтому данный луч идёт сквозь линзу, не преломляясь.

Теперь возьмём луч  $AB$ , идущий параллельно главной оптической оси. В точке  $B$  падения луча на линзу проведена нормаль  $MN$  к поверхности линзы; поскольку луч переходит из воздуха в оптически более плотное стекло, угол преломления  $CBN$  меньше угла падения  $ABM$ . Следовательно, преломлённый луч  $BC$  приближается к главной оптической оси.

В точке  $C$  выхода луча из линзы также проведена нормаль  $PQ$ . Луч переходит в оптически менее плотный воздух, поэтому угол преломления  $QCD$  больше угла падения  $PCB$ ; луч преломляется опять-таки в сторону главной оптической оси и пересекает её в точке  $D$ .

Таким образом, всякий луч, параллельный главной оптической оси, после преломления в линзе приближается к главной оптической оси и пересекает её. На рис. 2 изображена картина преломления достаточно *широкого* светового пучка, параллельного главной оптической оси.

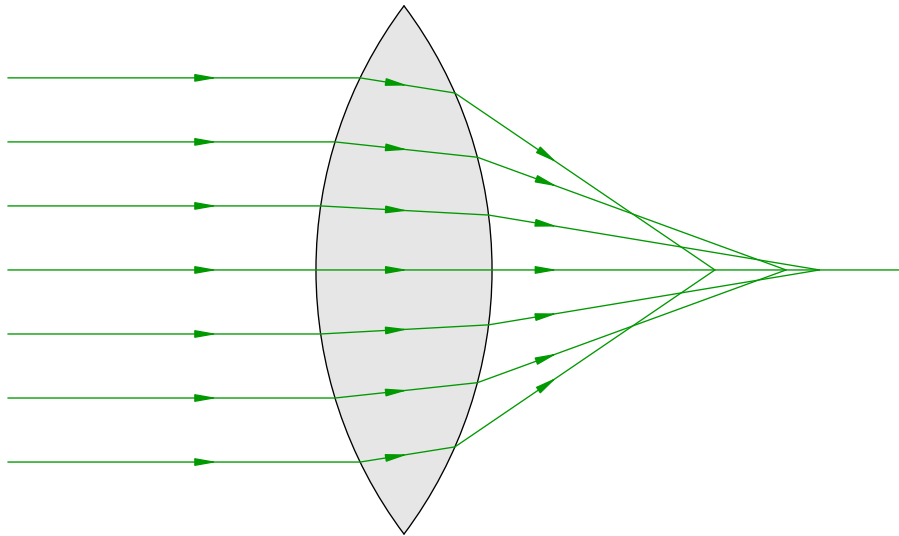


Рис. 2. Сферическая aberrация в двояковыпуклой линзе

Как видим, широкий пучок света *не фокусируется* линзой: чем дальше от главной оптической оси расположен падающий луч, тем ближе к линзе он пересекает главную оптическую ось после преломления. Это явление называется *сферической aberrацией* и относится к недостаткам линз — ведь хотелось бы всё же, чтобы линза сводила параллельный пучок лучей в одну точку<sup>1</sup>.

Весьма приемлемой фокусировки можно добиться, если использовать *узкий* световой пучок, идущий вблизи главной оптической оси. Тогда сферическая aberrация почти незаметна — посмотрите на рис. 3.

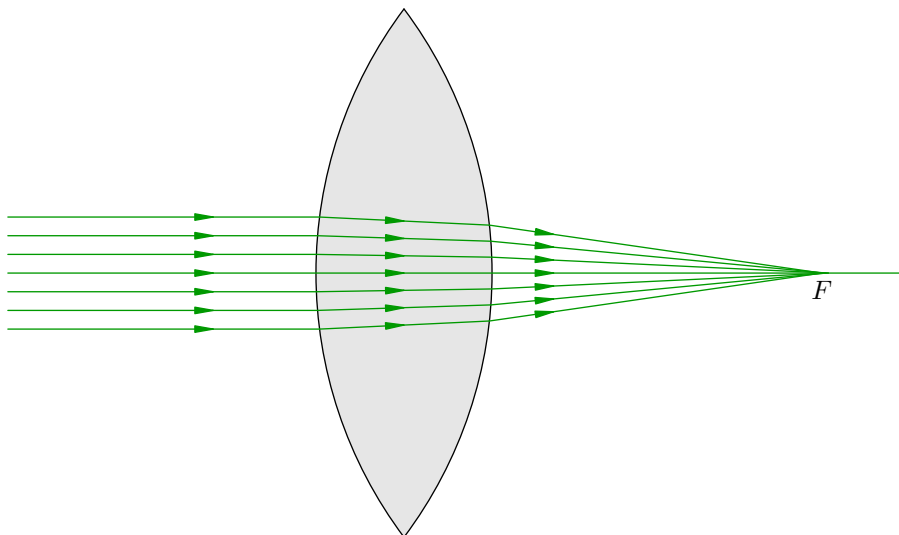


Рис. 3. Фокусировка узкого пучка собирающей линзой

Хорошо видно, что узкий пучок, параллельный главной оптической оси, после прохождения линзы собирается приблизительно в одной точке  $F$ . По этой причине наша линза носит название *собирающей*.

<sup>1</sup>Точная фокусировка широкого пучка действительно возможна, но для этого поверхность линзы должна иметь не сферическую, а более сложную форму. Шлифовать такие линзы — дело трудоёмкое и нецелесообразное. Проще уж изготавливать сферические линзы и бороться с появляющейся сферической aberrацией.

Кстати, aberrация называется сферической как раз потому, что возникает в результате замены оптимально фокусирующей сложной несферической линзы на простую сферическую.

Точка  $F$  называется *фокусом* линзы. Вообще, линза имеет два фокуса, находящиеся на главной оптической оси справа и слева от линзы. Расстояния от фокусов до линзы не обязательно равны друг другу, но мы всегда будем иметь дело с ситуациями, когда фокусы расположены симметрично относительно линзы.

### Двояковогнутая линза

Теперь мы рассмотрим совсем другую линзу, ограниченную двумя *вогнутыми* сферическими поверхностями (рис. 4). Такая линза называется *двояковогнутой*. Так же, как и выше, мы проследим ход двух лучей, руководствуясь законом преломления.

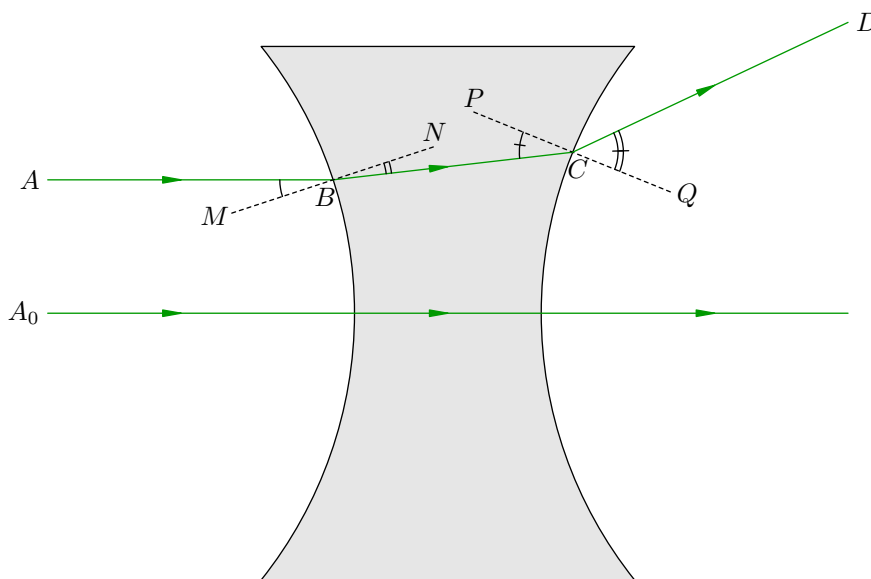


Рис. 4. Преломление в двояковогнутой линзе

Луч, выходящий из точки  $A_0$  и идущий вдоль главной оптической оси, не преломляется — ведь главная оптическая ось, будучи осью симметрии линзы, перпендикулярна обеим сферическим поверхностям.

Луч  $AB$ , параллельный главной оптической оси, после первого преломления начинает удаляться от неё (так как при переходе из воздуха в стекло  $\angle CBN < \angle ABM$ ), а после второго преломления удаляется от главной оптической оси ещё сильнее (так как при переходе из стекла в воздух  $\angle QCD > \angle PCB$ ).

Двояковогнутая линза преобразует параллельный пучок света в расходящийся пучок (рис. 5) и называется поэтому *рассеивающей*.

Здесь также наблюдается сферическая аберрация: продолжения расходящихся лучей не пересекаются в одной точке. Мы видим, что чем дальше от главной оптической оси расположен падающий луч, тем ближе к линзе пересекает главную оптическую ось продолжение преломлённого луча.

Как и в случае двояковыпуклой линзы, сферическая аберрация будет практически незаметна для узкого приосевого пучка (рис. 6). Продолжения лучей, расходящихся от линзы, пересекаются приблизительно в одной точке — в *фокусе* линзы  $F$ .

Если такой расходящийся пучок попадёт в наш глаз, то мы увидим за линзой светящуюся точку! Почему? Вспомните, как возникает изображение в плоском зеркале: наш мозг обладает способностью продолжать расходящиеся лучи до их пересечения и создавать в месте пересечения иллюзию светящегося объекта (так называемое мнимое изображение). Вот именно такое мнимое изображение, расположенное в фокусе линзы, мы и увидим в данном случае.

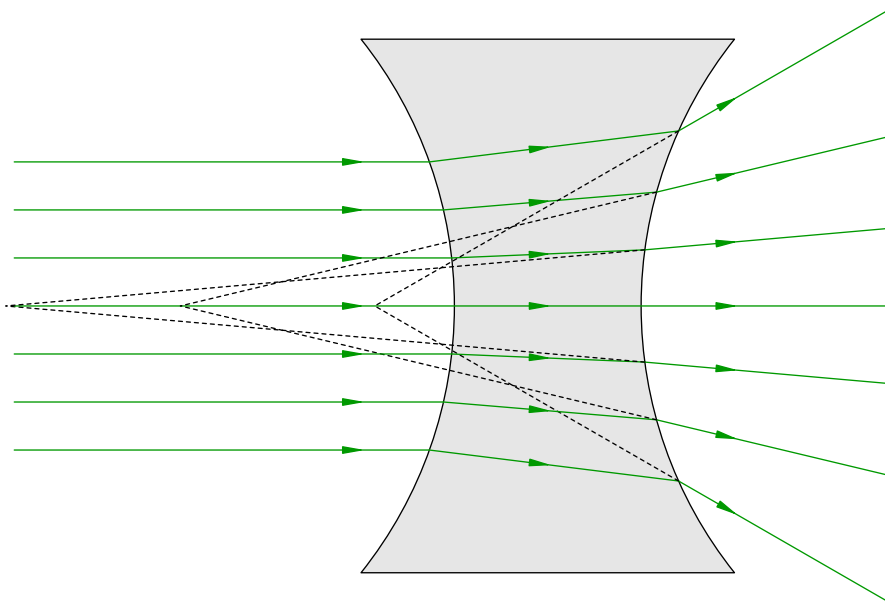


Рис. 5. Сферическая аберрация в двояковогнутой линзе

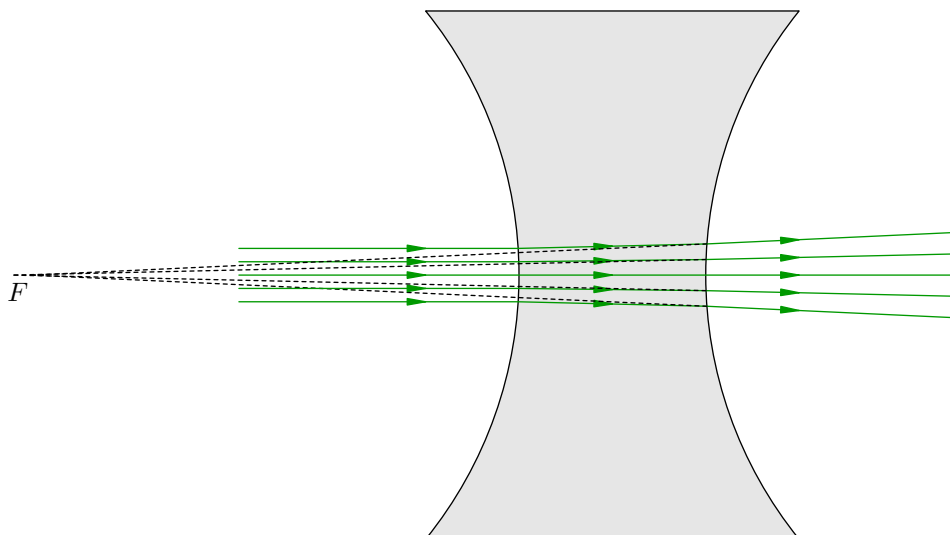


Рис. 6. Преломление узкого пучка в рассеивающей линзе

## Виды собирающих и рассеивающих линз

Мы рассмотрели две линзы: двояковыпуклую линзу, которая является собирающей, и двояковогнутой линзой, которая является рассеивающей. Существуют и другие примеры собирающих и рассеивающих линз.

Полный набор собирающих линз представлен на рис. 7.

Помимо известной нам двояковыпуклой линзы, здесь изображены: *плосковыпуклая* линза, у которой одна из поверхностей плоская, и *вогнуто-выпуклая* линза, сочетающая вогнутую и выпуклую граничные поверхности. Обратите внимание, что у вогнуто-выпуклой линзы выпуклая поверхность в большей степени искривлена (радиус её кривизны меньше); поэтому собирающее действие выпуклой преломляющей поверхности перевешивает рассеивающее действие вогнутой поверхности, и линза в целом оказывается собирающей.

Все возможные рассеивающие линзы изображены на рис. 8.

Наряду с двояковогнутой линзой мы видим *плосковоогнутую* (одна из поверхностей которой плоская) и *выпукло-вогнутую* линзу. Вогнутая поверхность выпукло-вогнутой линзы искрив-



Рис. 7. Собирающие линзы



Рис. 8. Рассеивающие линзы

лена в большей степени, так что рассеивающее действие вогнутой границы преобладает над собирающим действием выпуклой границы, и в целом линза оказывается рассеивающей.

Попробуйте самостоятельно построить ход лучей в тех видах линз, которые мы не рассмотрели, и убедиться, что они действительно являются собирающими или рассеивающими. Это отличное упражнение, и в нём нет ничего сложного — ровно те же самые построения, которые мы проделали выше!