

Тонкие линзы. Ход лучей

Темы кодификатора ЕГЭ: линзы, оптическая сила линзы.

Взгляните ещё раз на рисунки линз из предыдущего листка: эти линзы обладают заметной толщиной и существенной кривизной своих сферических границ. Мы намеренно рисовали такие линзы — чтобы основные закономерности хода световых лучей проявились как можно более чётко.

Понятие тонкой линзы

Теперь, когда эти закономерности достаточно ясны, мы рассмотрим очень полезную идеализацию, которая называется *тонкой линзой*.

В качестве примера на рис. 1 приведена двояковыпуклая линза; точки O_1 и O_2 являются центрами её сферических поверхностей¹, R_1 и R_2 — радиусы кривизны этих поверхностей.

Так вот, линза считается тонкой, если её толщина MN очень мала. Нужно, правда, уточнить: мала по сравнению с чем?

Во-первых, предполагается, что $MN \ll R_1$ и $MN \ll R_2$. Тогда поверхности линзы хоть и будут выпуклыми, но могут восприниматься как «почти плоские». Этот факт нам очень скоро пригодится.

Во-вторых, $MN \ll a$, где a — характерное расстояние от линзы до интересующего нас предмета. Собственно, лишь в таком случае мы и сможем корректно говорить о «расстоянии от предмета до линзы», не уточняя, до какой именно точки линзы берётся это самое расстояние.

Мы дали определение тонкой линзы, имея в виду двояковыпуклую линзу на рис. 1. Это определение без каких-либо изменений переносится на все остальные виды линз. Итак: *линза является тонкой, если толщина линзы много меньше радиусов кривизны её сферических границ и расстояния от линзы до предмета.*

Условное обозначение тонкой собирающей линзы показано на рис. 2.

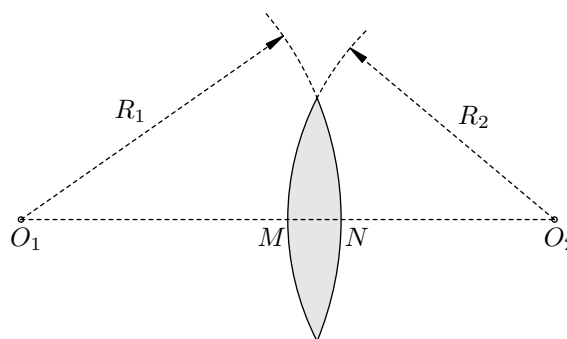


Рис. 1. К определению тонкой линзы

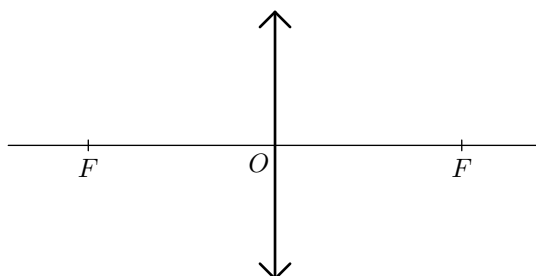


Рис. 2. Обозначение тонкой собирающей линзы

Условное обозначение тонкой рассеивающей линзы показано на рис. 3.

¹Напомним, что прямая O_1O_2 называется *главной оптической осью* линзы.

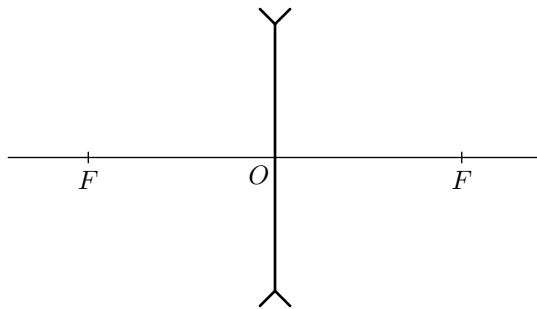


Рис. 3. Обозначение тонкой рассеивающей линзы

В каждом случае прямая FF — это главная оптическая ось линзы, а сами точки F — её фокусы. Оба фокуса тонкой линзы расположены симметрично относительно линзы.

Оптический центр и фокальная плоскость

Точки M и N , обозначенные на рис. 1, у тонкой линзы фактически сливаются в одну точку. Это точка O на рис. 2 и 3, называемая *оптическим центром* линзы. Оптический центр находится на пересечении линзы с её главной оптической осью.

Расстояние OF от оптического центра до фокуса называется *фокусным расстоянием* линзы. Мы будем обозначать фокусное расстояние буквой f . Величина D , обратная фокусному расстоянию, есть *оптическая сила* линзы:

$$D = \frac{1}{f}.$$

Оптическая сила измеряется в *диоптриях* (дптр). Так, если фокусное расстояние линзы равно 25 см, то её оптическая сила:

$$D = \frac{1}{0,25} = 4 \text{ дптр.}$$

Продолжаем вводить новые понятия. Всякая прямая, проходящая через оптический центр линзы и отличная от главной оптической оси, называется *побочной оптической осью*. На рис. 4 изображена побочная оптическая ось — прямая OP .

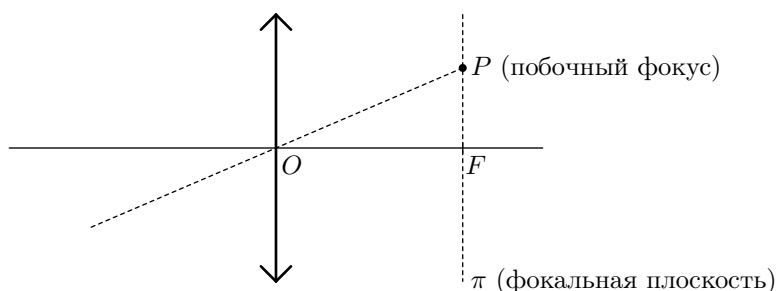


Рис. 4. Побочная оптическая ось, фокальная плоскость и побочный фокус

Плоскость π , проходящая через фокус перпендикулярно главной оптической оси, называется *фокальной плоскостью*. Фокальная плоскость, таким образом, параллельна плоскости линзы. Имея два фокуса, линза соответственно имеет и две фокальные плоскости, расположенных симметрично относительно линзы.

Точка P , в которой побочная оптическая ось пересекает фокальную плоскость, называется *побочным фокусом*. Собственно, каждая точка фокальной плоскости (кроме F) есть побочный

фокус — мы ведь всегда сможем провести побочную оптическую ось, соединив данную точку с оптическим центром линзы. А сама точка F — фокус линзы — в связи с этим называется ещё *главным фокусом*.

То, что на рис. 4 изображена собирающая линза, никакой роли не играет. Понятия побочной оптической оси, фокальной плоскости и побочного фокуса совершенно аналогично определяются и для рассеивающей линзы — с заменой на рис. 4 собирающей линзы на рассеивающую.

Теперь мы переходим к рассмотрению хода лучей в тонких линзах. Мы будем предполагать, что лучи являются *параксиальными*, то есть образуют достаточно малые углы с главной оптической осью. Если параксиальные лучи исходят из одной точки, то после прохождения линзы преломлённые лучи или их продолжения также пересекаются в одной точке. Поэтому изображения предметов, даваемые линзой, в параксиальных лучах получаются весьма чёткими.

Ход луча через оптический центр

Как мы знаем из предыдущего раздела, луч, идущий вдоль главной оптической оси, не преломляется. В случае тонкой линзы оказывается, что луч, идущий вдоль побочной оптической оси, также не преломляется!

Объяснить это можно следующим образом. Вблизи оптического центра O обе поверхности линзы неотличимы от параллельных плоскостей, и луч в данном случае идёт как будто через плоскопараллельную стеклянную пластинку (рис. 5).

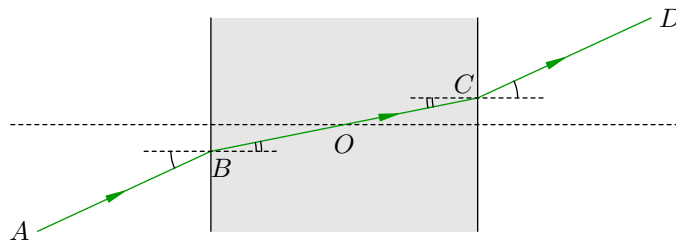


Рис. 5. Ход луча через оптический центр линзы

Угол преломления луча AB равен углу падения преломлённого луча BC на вторую поверхность. Поэтому второй преломлённый луч CD выходит из плоскопараллельной пластинки параллельно падающему лучу AB . Плоскопараллельная пластинка лишь смещает луч, не изменяя его направления, и это смещение тем меньше, чем меньше толщина пластинки.

Но для тонкой линзы мы можем считать, что эта толщина равна нулю. Тогда точки B , O и C фактически сольются в одну точку, и луч CD окажется просто продолжением луча AB . Вот поэтому и получается, что луч, идущий вдоль побочной оптической оси, не преломляется тонкой линзой (рис. 6).

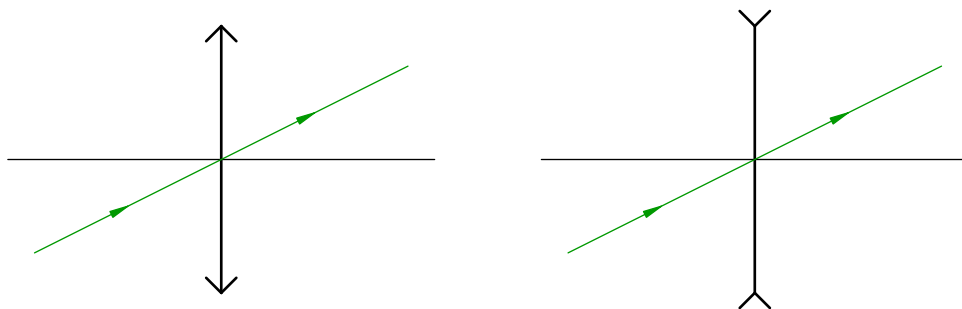


Рис. 6. Луч, идущий через оптический центр тонкой линзы, не преломляется

Это единственное общее свойство собирающих и рассеивающих линз. В остальном ход лучей в них оказывается различным, и дальше нам придётся рассматривать собирающую и рассеивающую линзу по отдельности.

Ход лучей в собирающей линзе

Как мы помним, собирающая линза называется так потому, что световой пучок, параллельный главной оптической оси, после прохождения линзы собирается в её главном фокусе (рис. 7).

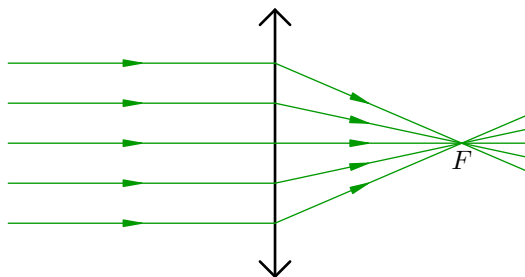


Рис. 7. Параллельный пучок собирается в главном фокусе

Пользуясь обратимостью световых лучей, приходим к следующему выводу: если в главном фокусе собирающей линзы находится точечный источник света, то на выходе из линзы получится световой пучок, параллельный главной оптической оси (рис. 8).

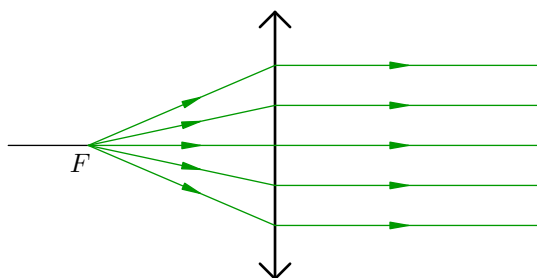


Рис. 8. Преломление пучка, идущего из главного фокуса

Оказывается, что пучок параллельных лучей, падающих на собирающую линзу *наклонно*, тоже соберётся в фокусе — но в побочном. Этот побочный фокус P отвечает тому лучу, который проходит через оптический центр линзы и не преломляется (рис. 9).

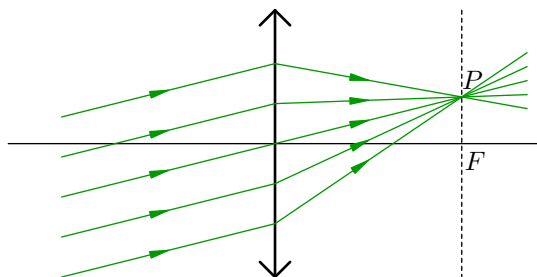


Рис. 9. Параллельный пучок собирается в побочном фокусе

Теперь мы можем сформулировать **правила хода лучей в собирающей линзе**. Эти правила вытекают из рисунков 6–9,

1. Луч, идущий через оптический центр линзы, не преломляется.

2. Луч, идущий параллельно главной оптической оси линзы, после преломления пойдёт через главный фокус (рис. 10).

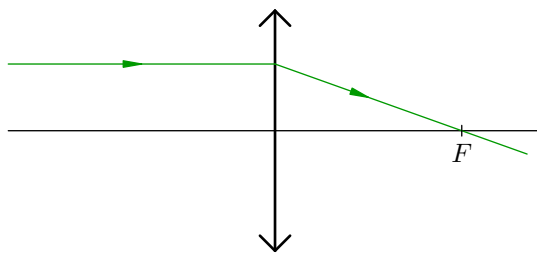


Рис. 10. К правилу 2

3. Если луч падает на линзу наклонно, то для построения его дальнейшего хода мы проводим побочную оптическую ось, параллельную этому лучу, и находим соответствующий побочный фокус. Вот через этот побочный фокус и пойдёт преломлённый луч (рис. 11).

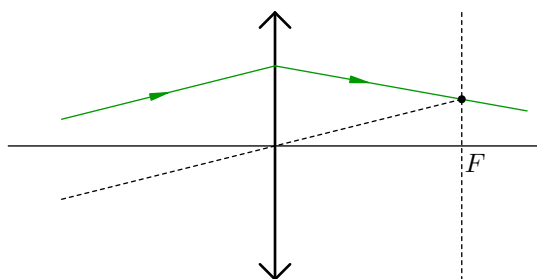


Рис. 11. К правилу 3

В частности, если падающий луч проходит через фокус линзы, то после преломления он пойдёт параллельно главной оптической оси.

Ход лучей в рассеивающей линзе

Переходим к рассеивающей линзе. Она преобразует пучок света, параллельный главной оптической оси, в расходящийся пучок, как бы выходящий из главного фокуса (рис. 12).

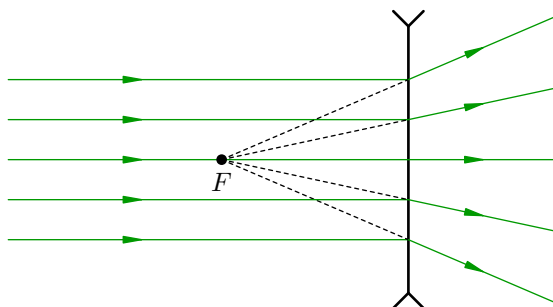


Рис. 12. Рассеяние параллельного пучка

Наблюдая этот расходящийся пучок, мы увидим светящуюся точку, расположенную в фокусе F позади линзы.

Если параллельный пучок падает на линзу наклонно, то после преломления он также станет расходящимся. Продолжения лучей расходящегося пучка соберутся в побочном фокусе P , отвечающем тому лучу, который проходит через оптический центр линзы и не преломляется (рис. 13).

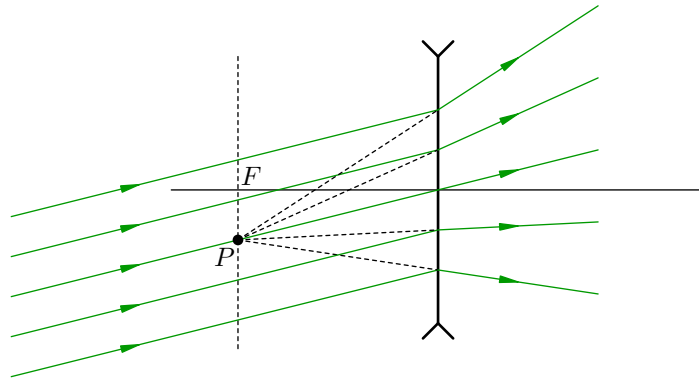


Рис. 13. Рассеяние наклонного параллельного пучка

Этот расходящийся пучок создаст у нас иллюзию светящейся точки, расположенной в побочном фокусе P за линзой.

Теперь мы готовы сформулировать **правила хода лучей в рассеивающей линзе**. Эти правила следуют из рисунков 6, 12 и 13.

1. Луч, идущий через оптический центр линзы, не преломляется.
2. Луч, идущий параллельно главной оптической оси линзы, после преломления начнёт удаляться от главной оптической оси; при этом продолжение преломлённого луча пройдёт через главный фокус (рис. 14).

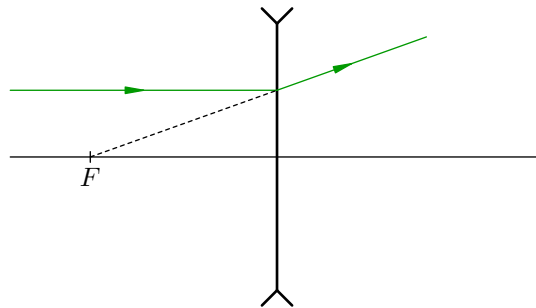


Рис. 14. К правилу 2

3. Если луч падает на линзу наклонно, то мы проводим побочную оптическую ось, параллельную этому лучу, и находим соответствующий побочный фокус. Преломлённый луч пойдёт так, словно он исходит из этого побочного фокуса (рис. 15).

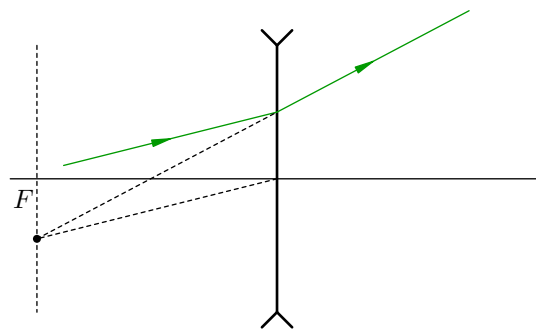


Рис. 15. К правилу 3

Пользуясь правилами хода лучей 1–3 для собирающей и рассеивающей линзы, мы теперь научимся самому главному — строить изображения предметов, даваемые линзами.