

Некоммерческое Партнерство
Региональный Научно-Образовательный Центр
"Логос"

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

2009–2010 учебный год

Ярославль 2009

Оглавление

1. Аннотация	3
2. Математический минимум	3
3. Введение	3
4. Основные положения геометрической оптики	5
5. Плоские зеркала	7
6. Сферические зеркала	10
7. Построение изображений в сферическом зеркале	12
8. Полное внутреннее отражение	13
9. Построение изображений с помощью тонких линз	15
10. Формула линзы	17
11. Рекомендуемая литература	19
12. Основные формулы по теме	19
13. Вопросы	20
14. Задачи	21

1. Аннотация

В настоящем методическом пособии рассматриваются основные понятия и законы геометрической оптики и их практическое применение при построении изображений в плоских и сферических зеркалах и тонких линзах. Изложение теоретического материала иллюстрируется примерами. Пособие рекомендуется учащимся 8 – 11-х классов.

2. Математический минимум

Необходимо уметь:

- Выполнять простейшие геометрические построения;

Необходимо знать:

- Тригонометрические функции угла треугольника (\sin , \cos , \tan) и простейшие тригонометрические соотношения (например $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$);
- Теоремы подобия треугольников;
- Формулы синуса и тангенса малых углов $\sin \alpha \approx \tan \alpha \approx \alpha$, где α выражен в радианах.

3. Введение

Изучаемые в школе световые явления являются частью обширного раздела физики, получившего название "Оптика". Причем те явления, рассмотрение которых опирается на понятие луча света, относятся к так называемой *лучевой* или *геометрической оптике*. Уже само название этого раздела физики говорит о значимости геометрических соотношений при рассмотрении оптических явлений. Особенное значение при этом приобретают свойства прямоугольных треугольников, а сами физические законы, как вы в этом неоднократно убеждались ранее, точнее всего формулируются на математическом языке.

Попробуем пояснить, какие свойства прямоугольных треугольников нам потребуются в дальнейшем.

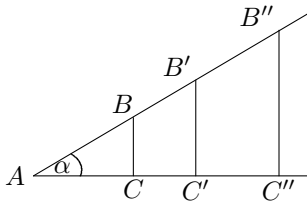


Рис. 3.1

Если зафиксировать какой-либо из острых углов прямоугольного треугольника (угол α на рис. 3.1), то легко заметить, что отношение любых двух соответствующих его сторон будет одно и то же для любых прямоугольных треугольников с таким углом, т.е. это отношение является однозначной характеристикой (или как говорят функцией) такого угла. Отношение противолежащего углу α катета к гипотенузе называют **синусом** этого угла (сокращенно принятая запись $\sin \alpha$):

$$\sin \alpha = \frac{BC}{AB} = \frac{B'C'}{AB'} = \frac{B''C''}{AB''}.$$

Отношение прилежащего углу α катета к гипотенузе называют **косинусом** этого угла

$$\cos \alpha = \frac{AC}{AB} = \frac{AC'}{AB'} = \frac{AC''}{AB''}.$$

Существуют и другие функции угла α , о которых в свое время вы еще узнаете. Между этими функциями существуют определенные связи, и та часть геометрии, которая развивается на основе этих функций угла, получила название **тригонометрии**. Не останавливаясь подробно на этих связях, отметим одну, которую вы сами легко можете получить, воспользовавшись определением:

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1.$$

Заметим в заключение этого краткого математического введения, что знание тригонометрических функций угла (синуса и косинуса) позволяет, например, по одной известной стороне прямоугольного треугольника определить две его другие стороны. Значения синусов и косинусов для различных значений углов обычно заносятся в таблицы. Пределы изменения значений синусов и косинусов при изменении угла α от 0° до 90° (опять же, как можно легко видеть из их определения) изменяются от 0 до 1.

4. Основные положения геометрической оптики

Геометрическая оптика основывается на следующих законах:

1. Закон прямолинейного распространения света в однородных средах.
2. Закон независимого распространения лучей света.
3. Законы отражения и преломления света на границе двух сред.
4. Обратимость хода лучей.

Согласно **закону прямолинейного распространения света**, луч света между двумя точками в однородной среде распространяется по прямой, соединяющей эти точки.

В геометрической оптике полагается, что отдельные лучи не влияют друг на друга и распространяются так, как будто других лучей не существует. Этот закон подтверждается на практике и носит название **независимости распространения лучей света**.

Падая на поверхность какого-нибудь предмета, свет частично отражается. Остальная часть либо поглощается предметом (и превращается в тепло), либо (если предмет прозрачен, как стекло или вода) проходит сквозь предмет. От блестящего предмета (например, от посеребренного зеркала) может отражаться более 95% падающего света.

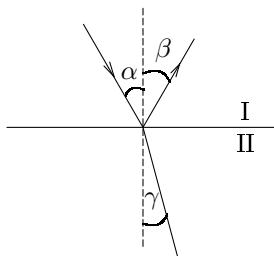


Рис. 4.1

Если узкий пучок света падает на плоскую поверхность, то **углом падения** α называют угол, который падающий луч образует с нормалью к поверхности, а **углом отражения** β угол, который образует с этой нормалью отраженный луч, и, наконец, углом преломления γ обозначают угол между нормалью к поверхности раздела сред и преломленным лучом (см. рис. 4.1).

Законы отражения и преломления света можно сформулировать следующим образом:

1. Падающий луч, нормаль к границе раздела, отраженный и преломленный лучи лежат в одной плоскости.
2. Угол падения равен углу отражения.
3. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для двух данных сред.

В соответствии с рис. 4.1 эти законы можем записать в виде:

$$\alpha = \beta \quad \text{и} \quad \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21} .$$

В геометрической оптике справедлив так называемый принцип обратимости хода лучей. Этот принцип утверждает, что направления падающего и преломленного (или отраженного) лучей могут быть изменены на противоположные; лучи меняются ролями, но углы лучей с нормалью останутся без изменения.

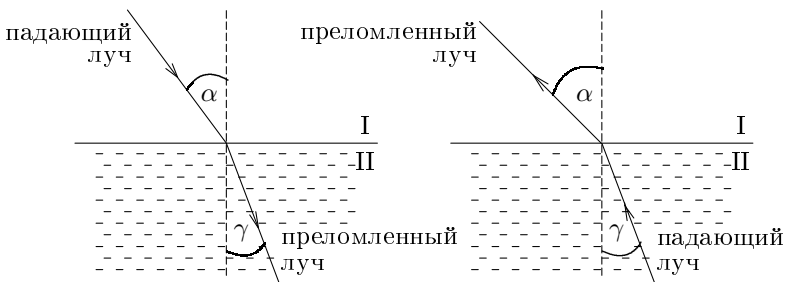


Рис. 4.2

Величина n_{21} называется относительным показателем преломления среды II относительно среды I. Если первой средой является вакуум (или воздух, что близко по оптическим свойствам), то показатель второй среды относительно вакуума называется абсолютным показателем преломления или просто показателем преломления этой среды. Поэтому закон преломления может быть записан в виде:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1} ,$$

где n_2 и n_1 — показатели преломления сред II и I относительно вакуума.

Переписав этот закон в таком виде, чтобы все относящиеся к одной среде величины находились с одной стороны равенства, получим:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \gamma$$

Заметим, что абсолютный показатель преломления показывает, во сколько раз скорость света в среде меньше скорости света в вакууме. Падающая на шероховатую поверхность (даже если шероховатости микроскопически малы, как например, на поверхности этой страницы) свет отражается в различных направлениях (рис. 4.3). Это так называемое диффузное отражение. Закон отражения выполняется и в этом случае, но на каждом маленьком участке поверхности. Из-за диффузного отражения во всех направлениях обычный предмет можно наблюдать под разными углами.

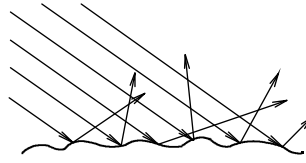


Рис. 4.3

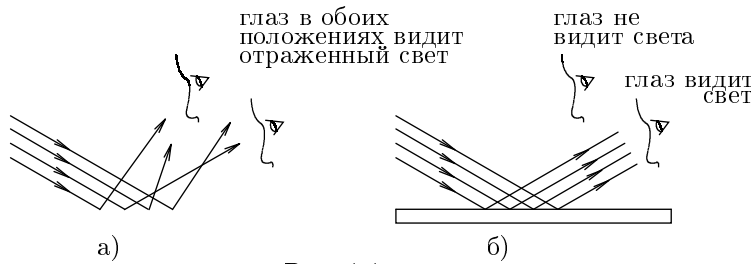


Рис. 4.4

Стоит сдвинуть голову в сторону, как из каждой точки предмета в глаз будет попадать другой пучок отраженных лучей (рис. 4.4 а). Но если узкий пучок света падает на зеркало, то вы увидите его только в том случае, если глаз занимает положение, для которого выполняется закон отражения (рис. 4.4 б). Этим и объясняются необычные свойства зеркал.

5. Плоские зеркала

Одной из основных задач геометрической оптики является построение изображений, получающихся при отражениях и преломле-

ниях на границах оптических сред в различных оптических устройствах.

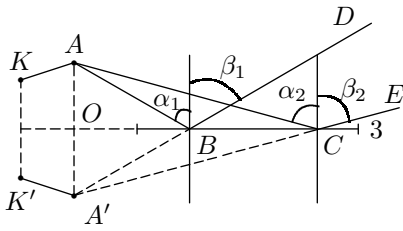


Рис. 5.1

При построении изображения следует крепко затвердить основное правило геометрической оптики: **для построения изображения точки в любой оптической системе нужно провести, как минимум, два луча. После прохождения лучей через оптическую систему изображение точки получается на пересечении этих лучей, или на пересечении их продолжений.**

Простейшим оптическим устройством такого рода является плоское зеркало.

Построим изображение точки A , создаваемое плоским зеркалом (рис. 5.1).

Построение изображения в плоском зеркале основано на использовании закона отражения света. Из всего светового потока, отражаемого точкой A , выберем два луча 1 и 2, которые падают на зеркало под разными углами α_1 и α_2 (рис. 5.1).

После отражения от зеркала эти лучи, как видно из рисунка, расходятся. Продолжения лучей пересекаются в точке A' , находящейся по другую сторону зеркала относительно точки A . Нашему глазу будет казаться, что лучи 1 и 2 выходят из точки A' , как будто там находится точка A , т.е. точка A' воспринимается нами как изображение точки A .

Если договориться считать **действительным** изображение, когда оно образуется как пересечение прошедших оптическую систему лучей, и **мнимым**, когда оно получается как результат продолжения этих лучей, то плоское зеркало создает мнимое, прямое (неперевернутое) изображение предмета в натуральную величину, расположенное симметрично предмету относительно зеркала.

Почему же мы видим мнимое изображение? Дело в том, что хрусталик глаза и стекловидное тело представляют собой своеобразную линзу и собирают расходящийся световой пучок на сетчатке в точке A'' . Аналогично расходящийся световой пучок может собирать объ-

ектив фотоаппарата. Именно свойство линз собирать расходящийся пучок позволяет видеть мнимое изображение. Оптика фотоаппарата собирает расходящийся пучок, поэтому фотоаппарат способен фиксировать мнимое изображение.

При построении изображения в плоском зеркале, как теперь ясно, не обязательно пользоваться двумя лучами. Из равенства треугольников ABO и $A'BO$ (см. рис. 5.1) следует, что $AO = A'O$. Значит возможен более простой и понятный способ построения: на перпендикуляре, опущенном на зеркало из точки A , надо отложить отрезок $A'O = AO$. Так мы найдем место мнимого изображения A' . По существу таким образом мы пользуемся симметрией расположения предмета и его идеального изображения относительно идеально плоского зеркала.

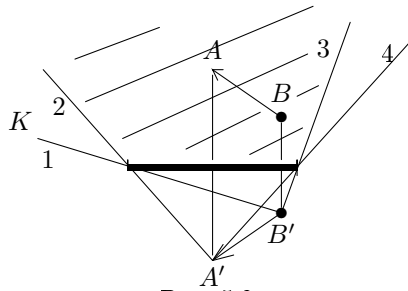


Рис. 5.2

Из практики хорошо известно что не из любой точки можно увидеть изображение в зеркале. На рис. 5.2 видно, что полностью изображение $A'B'$ в зеркале наблюдается только в так называемой **области видения**, ограниченной прямыми 2–3. Есть еще две области 1–2 и 3–4, из которых видна только часть предмета. Например, из точки K видна только правая часть предмета. За пределами прямых 1 и 4 изображение не видно.

Пример 1. Какой минимальной высоты плоское зеркало нужно повесить на стену, чтобы человек мог видеть себя в полный рост?

Решение. Логика решения такова: повесим на стену бесконечное плоское зеркало, построим в нем изображение, посмотрим, какая часть зеркала "работает", а остальноеотрежем.

Пусть AB — человек, $З$ — бесконечное плоское зеркало (рис. 5.3). Как мы уже знаем, изображение $A'B'$ равно по величине самому человеку AB и расположено симметрично плоскости зеркала. Но тогда легко увидеть из рисунка, что "работает" только участок CD зеркала. Из подобия треугольников $A'BB'$ и DBC

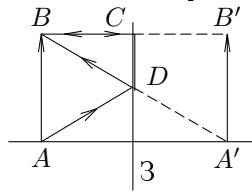


Рис. 5.3

следует, что

$$CD = \frac{1}{2}B'A' = \frac{1}{2}BA.$$

То есть нужно на стену подходящим образом повесить плоское зеркало высотой, равной половине роста человека. ▲

6. Сферические зеркала

Сферическим зеркалом можно считать часть внешней или внутренней поверхности зеркальной сферы, причем первая носит название *выпуклого* зеркала, а вторая — *вогнутого*. Основные характеристики сферических зеркал: оптический центр зеркала — точка, являющаяся центром сферической поверхности; оптическая ось — прямая, проходящая через оптический центр, фокус F — точка на оптической оси, через которую проходит после отражения от зеркала луч (или его продолжение), падавший на зеркало параллельно оптической оси, и фокусное расстояние F — расстояние от фокуса до вершины зеркала вдоль оптической оси ($FC = F$).

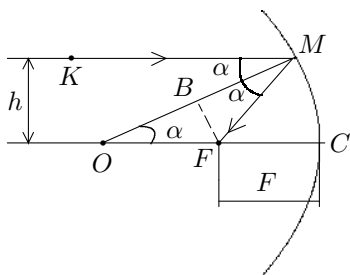


Рис. 6.1

Определим величину фокусного расстояния F сферического зеркала. Пусть на вогнутое сферическое зеркало падает луч KM , параллельный оптической оси OC (см. рис. 6.1). В точке падения восстановим перпендикуляр к зеркалу — им будет радиус OM . Воспользовавшись законом отражения, строим луч MF , который проходит через точку F , являющуюся по определению фокусом. Точку и расстояние от этой точки до вершины зеркала C обозначим одной и той же буквой F .

$\angle COM = \angle KMO = \alpha$, как накрест лежащий угол при параллельных прямых. Но $\angle KMO = \angle FMO = \alpha$ по закону отражения. Следовательно, треугольник OFM является равнобедренным. Из прямоугольного треугольника OFB

$$\frac{OB}{OF} = \cos \alpha,$$

откуда

$$OF = \frac{R}{2 \cos \alpha} \quad \text{и} \quad OB = \frac{R}{2}.$$

Фокусное расстояние

$$F = CF = OC - OF = R - \frac{R}{2 \cos \alpha} = \frac{R}{2} \left(2 - \frac{1}{\cos \alpha} \right).$$

Учитывая, что $\sin \alpha = \frac{h}{R}$, получим окончательно

$$F = \frac{R}{2} \left(2 - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{h^2}{R^2}}} \right).$$

Таким образом, в сферическом зеркале фокусное расстояние для различных лучей, находящихся на разных расстояниях от оптической оси, оказывается различным. Однако для так называемого параксиального (приосевого) пучка, для которого выполняется условие $h \ll R$, фокусное расстояние можно считать одинаковым для всех лучей пучка и равным

$$F = \frac{R}{2}. \quad (6.1)$$

Величину, обратную фокусному расстоянию, называют *оптической силой* зеркала.

$$D = \frac{1}{F} = \frac{2}{R}.$$

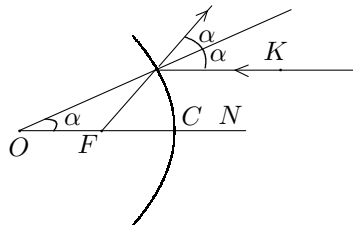


Рис. 6.2

Рекомендуем читателю самому проверить, что при $h \leq 0,1R$ выражение (6.1) справедливо с точностью не меньшей 0,5%.

Как видно из рис. 6.2, у выпуклого зеркала фокус мнимый. Нетрудно убедиться (предоставляем это сделать самостоятельно), что и здесь для параксиального пучка справедливо условие (6.1).

7. Построение изображений в сферическом зеркале

Для построения изображений в сферическом зеркале следует выбрать любые два луча из трех:

- а) луч, проходящий через оптический центр зеркала; после отражения от зеркала он или его продолжение проходит по тому же направлению;
- б) луч, падающий на зеркало, параллельный оптической оси; - после отражения он проходит через фокус зеркала;
- в) луч, проходящий через фокус зеркала; после отражения он идет параллельно главной оптической оси.

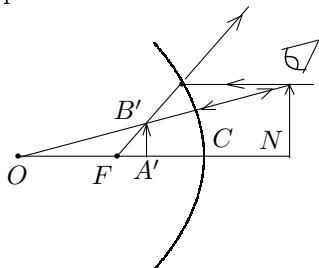


Рис. 7.1

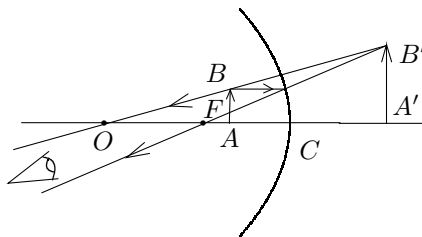


Рис. 7.2

Если мы строим изображение предмета, то надо, строго говоря, строить изображение всех его точек. Однако в некоторых частных случаях, например, когда предмет — прямая линия, можно строить изображение двух его точек. При этом не надо забывать, что при построении мы пользуемся только параксиальными пучками, ширина которых $h \ll R$ — радиуса кривизны зеркала. Воспользовавшись этими правилами, построим изображения в некоторых частных случаях.

Как видно из рис. 7.1, в выпуклом зеркале изображение **мнимое**, **прямое**, **уменьшенное**, причем при любом расположении предмета относительно зеркала. Последнее утверждение рекомендуем проверить построением.

Мнимое, **прямое**, но **увеличенное** изображение возникает и в вогнутом зеркале, если предмет расположен между фокусом и зеркалом (рис. 7.2).

Если же предмет расположен дальше центра вогнутого зеркала, то образуется **перевернутое, уменьшенное и действительное** изображение (рис. 7.3), причем, пользуясь этим же рисунком, легко сообразить, что если предмет поместить между фокусом и центром зеркала, то за центром возникнет **перевернутое, увеличенное и действительное** изображение.

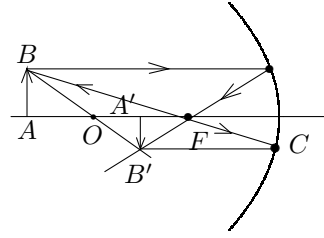


Рис. 7.3

8. Полное внутреннее отражение

Из закона преломления следует, что если свет попадает в среду с большим показателем преломления ($n_2 > n_1$), то луч приближается к нормали и, наоборот, когда свет переходит в среду с меньшим показателем преломления (например, из воды в воздух), он отклоняется от нормали подобно лучу *A* на рис. 8.1.

При определенном угле падения на границе двух сред угол преломления достигает 90° и преломленный луч скользит по поверхности, как луч *B* на рис. 8.1.

Угол падения, при котором это происходит, называется критическим углом $i_{кр}$. Из закона преломления критический угол определяется по формуле:

$$\sin i_{кр} = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin 90^\circ = \frac{n_1}{n_2}.$$

При угле падения меньше $i_{кр}$ преломленный луч существует, хотя часть света отражается на границе. Если же угол падения превышает критический угол $i_{кр}$, то согласно закону преломления, $\sin i_2$ должен

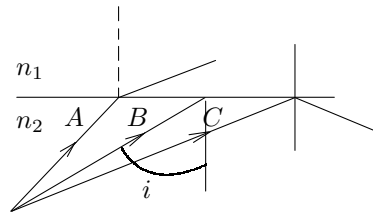


Рис. 8.1

превышать единицу. Но синус не может превышать единицу, поэтому если угол падения оказывается больше критического, то преломленный луч отсутствует и весь свет отражается (луч C на рис. 8.1). Это явление получило название **полного внутреннего отражения**. Обратите внимание, что полное внутреннее отражение происходит только при переходе луча из оптически более плотной среды (с большим показателем преломления) в оптически менее плотную (среду с меньшим показателем преломления). Во многих оптических приборах, например, в биноклях полное внутреннее отражение используется при отражении света в призмах. Преимущество состоит в том, что при этом отражается почти 100% света, т.е. изображение получается более ярким.

На полном внутреннем отражении основана вся **волоконная оптика**. Рассмотрим в качестве примера задачи на полное внутреннее отражение волоконный световод — устройство, все более широко используемое в технике.

Пример 2. Длинная тонкая нить, выполненная из прозрачного материала с показателем преломления $n = 1,41$, является световодом. В нити свет распространяется, испытывая многократное полное отражение на боковой поверхности. Определить угол зрения такого световода (т.е. определить, под каким максимальным углом к оси нити может падать световой луч на торец, чтобы пройти по световоду без ослабления).

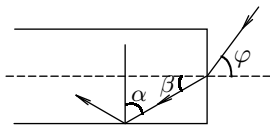


Рис. 8.2

Решение. Для того, чтобы свет проходил без потерь, нужно, чтобы угол α (рис. 8.2) был не меньше угла полного внутреннего отражения, то есть

$$\sin \alpha \geq \frac{1}{n} = \frac{1}{1,41} = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

Но это означает, что $\alpha \geq 45^\circ$ и $\beta \leq 45^\circ$.

По закону преломления $\sin \varphi / \sin \beta = n$. Откуда $\sin \varphi = n \sin \beta \leq n \sin 45^\circ \leq 1$. То есть при $0 \leq \varphi \leq 90^\circ$ лучи проходят световод не ослабляясь. Ответ таков: все лучи, падающие на торец световода, идут вдоль световода не выходя наружу. ▲

9. Построение изображений с помощью тонких линз

Линзой называется устройство, представляющее собой тело из прозрачного материала, ограниченное двумя сферическими поверхностями. (В частности, одна из поверхностей может быть плоской — сферическая поверхность бесконечно большого радиуса.)

Введем некоторые понятия и характерные для линз точки.

Прямая, проходящая через центры кривизны обеих сферических поверхностей, называется *главной оптической осью*. Лучи, параллельные главной оптической оси после прохождения линзы соберутся (или их продолжения) в некоторой точке оптической оси. Эта точка называется фокусом. Если толщина линзы много меньше расстояния (по главной оптической оси) от линзы до фокуса, то такая линза называется тонкой. В дальнейшем мы будем иметь дело только с тонкими линзами. Расстояние от линзы до фокуса называется фокусным расстоянием.

Как и для сферических зеркал, точку фокуса и фокусное расстояние будем обозначать одной буквой F , различая по тексту смысловые различия.

Величину

$$D = \frac{1}{F},$$

где F выражается в метрах, называют оптической силой линз, которая измеряется в диоптриях ($F = 1 \text{ м} \Rightarrow D = 1 \text{ дптр}$, $F = 0,5 \text{ м} \Rightarrow D = 2 \text{ дптр}$).

Предварительно напомним некоторые определения. Точка пересечения O главной оптической оси с линзой называется оптическим центром линзы. Плоскость, перпендикулярная главной оптической оси и проходящая через фокус линзы, называется фокальной плоскостью. Если на линзу падает пучок лучей, параллельных любой оптической оси, называемой в отличие от главной, побочной, после прохождения линзы они (или их продолжения) пересекаются в точке пересечения побочной оси с фокальной плоскостью.¹

По характеру воздействия на проходящий параллельный главной оптической оси пучок лучей линзы подразделяются на собирающие

¹ Не лишне напомнить, что любой луч, идущий через оптический центр линзы (вдоль побочной оси), проходит линзу, не преломляясь.

(положительные) и рассеивающие (отрицательные). При прохождении собирающей линзы лучи собираются в одной точке (фокусе). При прохождении рассеивающей линзы лучи расходятся таким образом, что в одной точке собираются их продолжения (отрицательное фокусное расстояние).

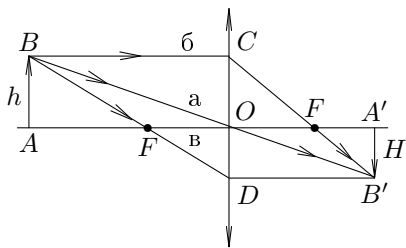


Рис. 9.1

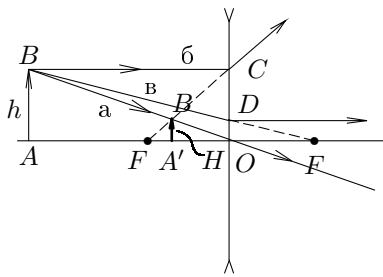


Рис. 9.2

Для построения изображения точки удобно пользоваться тремя основными (базовыми) лучами (рис. 9.1). Это луч (а) идущий через оптический центр линзы, который проходит ее, не преломляясь; луч (б), параллельный главной оптической оси - после линзы он (или его продолжение) пройдет через фокус линзы; луч (в), идущий через фокус линзы; после линзы он (или его продолжение) пойдет (в силу обратимости хода лучей) параллельно главной оптической оси. Построение изображения точки в отрицательной линзе показано на рис. 9.2, где показаны те же три луча. Разумеется, для построения изображения точки достаточно двух лучей. Выбор соответствующей пары — вопрос удобства.

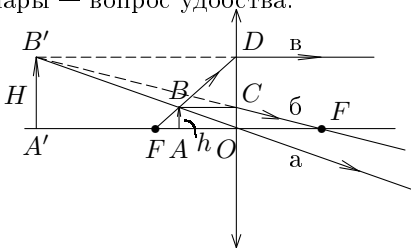


Рис. 9.3

Еще один пример построения изображений приведен на рис. 9.3. В этом случае предмет находится между положительной линзой и ее фокусом. Нетрудно заметить, что если на рис. 9.1 изображение действительное — изображение получается на пересечении преломленных лучей, то на рис. 9.2 и 9.3 изображение мнимое — оно получается на пересечении продолжений преломленных лучей.

Пример 3. На рис. 9.4 показан ход луча ABC через тонкую линзу HH' . Построить ход луча DE после преломления в линзе. Какая это линза — положительная или отрицательная?

Решение: Проведем луч GO (рис. 9.5), параллельный AB и проходящий через оптический центр линзы. Луч GO пройдет через линзу не преломляясь. Продолжение луча BC пересечет луч GO в фокальной плоскости линзы.

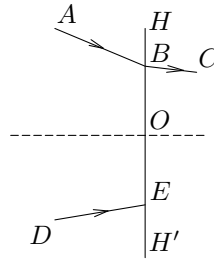


Рис. 9.4

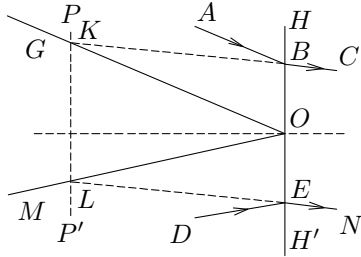


Рис. 9.5

Следовательно, плоскость PP' , перпендикулярная главной оптической оси и проходящая через точку K , является фокальной плоскостью. Проведем теперь через оптический центр линзы луч MO , параллельный DE . Этот луч пройдет линзу, не преломляясь. Продолжение луча EN (преломленного луча DE), должно пересечь

фокальную плоскость в точке L . Следовательно, луч DE после преломления в линзе пойдет по пути EN . Очевидно, линза отрицательная: в фокальной плоскости пересекаются не преломленные параллельные лучи, а их продолжения. ▲

10. Формула линзы

Вернемся к рис. 9.1. Из того, что $\triangle ABF \sim \triangle FOD$ имеем:

$$\frac{OD}{AB} = \frac{H}{h} = \frac{OF}{AF} = \frac{OF}{OA - OF} = \frac{F}{d - F}, \quad (10.2)$$

где F — фокусное расстояние линзы; d — расстояние от линзы до предмета; h — высота предмета; H — высота изображения. Из подобия треугольников $A'B'F$ и OCF , имеем:

$$\frac{A'B'}{OC} = \frac{H}{h} = \frac{FA'}{OF} = \frac{f - F}{F}, \quad (10.3)$$

где f — расстояние от линзы до изображения. Приравнивая (10.2) и (10.3), получим:

$$\frac{f - F}{F} = \frac{F}{d - F}; \quad dF - df + fF = 0.$$

Откуда, разделив последнее равенство на fFd , получаем

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}. \quad (10.4)$$

Повторяя точно такие же выкладки для рис. 9.2, получим

$$-\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}, \quad (10.5)$$

для рис. 9.3

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}. \quad (10.6)$$

Нетрудно заметить, что три последние формулы сводятся к одной (10.4), если мы учтем правило знаков: расстояние от линзы до мнимой величины (изображения, фокусов) является отрицательным. Фокус отрицательной линзы является мнимым, т.е. в нем пересекаются продолжения параллельных главной оптической оси лучей после их преломления в линзе и поэтому тоже считается отрицательным.

Рассмотрим пример.

Пример 4. На каком расстоянии от собирающей линзы с фокусным расстоянием 20 см нужно расположить предмет, чтобы получить его действительное изображение в четыре раза больше?

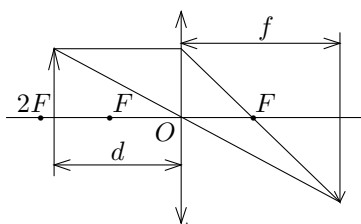


Рис. 10.1

Решение. Сразу грубо можно оценить это расстояние: оно должно быть между фокусным расстоянием и двойным фокусом, то есть лежать в пределах от 20 см до 40 см. Более точно это расстояние определим, воспользовавшись формулой тонкой линзы. Увеличение $\beta = f/d$

— из подобия треугольников, откуда $f = \beta d = 4d$. Подставляя в формулу тонкой линзы, получим:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{4d} = \frac{5}{4d},$$
$$d = \frac{5}{4}F = 25 \text{ см. } \blacktriangle$$

11. Рекомендуемая литература

1. Роуэлл Г., Герберт С. Физика. — М.: Просвещение, 1994.
2. Физика — 11, под ред. А.А. Пинского — М.: Просвещение, 1995.

12. Основные формулы по теме

1. Закон преломления:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1},$$

где α — угол падения луча на границу раздела двух сред, γ — угол преломления луча во второй среде, n_1 — коэффициент преломления первой среды, n_2 — коэффициент преломления второй среды.

2. Фокусное расстояние сферического зеркала:

$$F = \frac{R}{2},$$

где R — радиус кривизны зеркала.

3. Формула тонкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d},$$

где F — фокусное расстояние линзы, d — расстояние от предмета до линзы, f — расстояние от линзы до изображения.

13. Вопросы

Вопрос 1. [2 балла] Объясните, почему Луна должна иметь шероховатую, а не зеркально-гладкую поверхность?

Вопрос 2. [2 балла] Что позволяет "увидеть" круглую каплю воды на столе, если вода прозрачна и бесцветна?

Вопрос 3. [2 балла] Если вы смотрите из-под воды в бассейне на предмет, находящийся в воздухе, то будут ли размеры предмета казаться такими же, как в случае, когда вы смотрите на него, находясь в воздухе? Объясните.

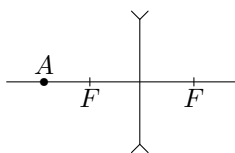


Рис. 13.1

Вопрос 4. [3 балла] Постройте изображение точки *A* (см. рис. 13.1), лежащей на главной оптической оси рассеивающей линзы.

Вопрос 5. [2 балла] Начертите ход лучей и объясните почему палка, частично погруженная в воду, кажется изломанной в том месте, где она входит в воду?

Вопрос 6. [3 балла] Показатель преломления одного стекла 1,5, другого — 1,7. Из того и другого выточено по двояковыпуклой линзе. Обе линзы геометрически одинаковы. В чем разнятся они оптически? Какое действие каждая из них произведёт на луч, если их погрузить в прозрачную жидкость с показателем преломления 1,6?

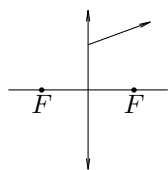


Рис. 13.2

Вопрос 7. [2 балла] Постройте ход луча до собирающей линзы, если известны его ход после линзы и положения фокусов линзы (рис. 13.2).

Вопрос 8. [2 балла] В каком случае линза, находящаяся в ящике (см. рис. 13.3), будет собирающей, и в каком — рассеивающей?

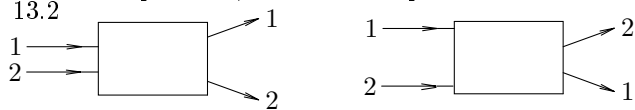


Рис. 13.3

Вопрос 9. [3 балла] Высота Солнца над горизонтом составляет угол $\alpha = 38^\circ$. Под каким углом к горизонту следует расположить зеркало, чтобы осветить солнечными лучами дно вертикального колодца?

Вопрос 10. [1 балл] Выпуклые зеркала сильно искажают форму предметов. Почему же в кабинах водителей транспорта устанавливаются именно выпуклые зеркала?

14. Задачи

Задача 1. [3 балла] Спичка расположена перпендикулярно главной оптической оси на расстоянии $d = \frac{3}{2}F$ от рассеивающей линзы, где F — фокусное расстояние. Найти увеличение спички в линзе.

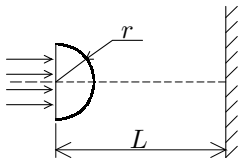


Рис. 14.1

Задача 2. [6 баллов] На половину шара радиуса $r = 2$ см, изготовленного из стекла с показателем преломления $n = \sqrt{2}$, падает параллельный пучок лучей. Определить радиус светлого пятна на экране, расположенном на расстоянии $L = 4.82$ см от центра шара.

Задача 3. [4 балла] На рисунке 14.2 показана светящаяся точка S и её изображение S' , а также главная оптическая ось OO сферического зеркала. Определите графически положения вершины зеркала и его центра кривизны.

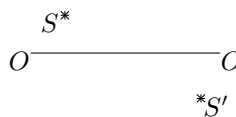


Рис. 14.2

Задача 4. [8 баллов] На плоскую поверхность стеклянного полуцилиндра падают световые лучи по углом 45° . Лучи проходят в плоскости, перпендикулярной оси полуцилиндра. Из какой части боковой поверхности полуцилиндра будут выходить лучи света? Показатель преломления стекла $n = \sqrt{2}$.

Задача 5. [5 баллов] Наблюдатель смотрит на предмет, лежащий на дне водоёма. Ему кажется, что предмет находится на глубине $h = 1$ м на расстоянии $\ell = 5$ м от его глаз по прямой линии. Глаза

наблюдателя находятся на одной и той же высоте, а именно на высоте $H = 1,5$ м над поверхностью воды. На какой глубине h_0 лежит предмет?

Задача 6. [5 баллов] Источник света расположен на двойном фокусном расстоянии от собирающей линзы на её оси. За линзой перпендикулярно оптической оси помещено плоское зеркало. На каком расстоянии от линзы нужно поместить зеркало, чтобы лучи, отражённые от зеркала, пройдя вторично через линзу, стали параллельными?

Задача 7. [6 баллов] Предмет и его прямое изображение, создаваемое тонкой линзой, расположены симметрично относительно фокуса линзы. Расстояние от предмета до его изображения равно 8 см. Найти фокусное расстояние линзы.

Задача 8. [4 балла] Дальновзоркий человек резко видит предметы, расположенные не ближе 1 до него. В каких очках он нуждается, чтобы читать газету, находящуюся на расстоянии 25 от его глаз?

Задача 9. [6 баллов] Параллельный пучок света падает нормально на переднюю грань стеклянного клина (показатель преломления n) с малым преломляющим углом α , а затем на рассеивающую линзу с фокусным расстоянием F , главная оптическая ось которой параллельна исходному пучку. Где увидит изображение точки наблюдатель находящийся за линзой?

Задача 10. [5 баллов] Постройте изображение наклонной стрелки AB (см. рис. 14.3), проходящей через фокус рассеивающей линзы.

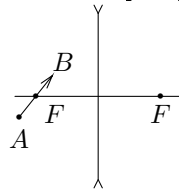


Рис. 14.3

Задача 11. [4 балла] На какой глубине увидит изображение чернильного пятна, находящегося на стеклянной пластинке толщиной d человек, смотрящий прямо с противоположной стороны пластины? Показатель преломления стекла равен n .

Авторы: Садовников Дмитрий Владимирович
Составители: Харунова Тамара Васильевна
Заказ №: 311
Тираж: 50шт.
Оформление и издание: НП РНОЦ "Логос"