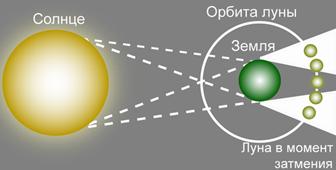
**Геометрическая оптика**

Основные законы геометрической оптики известны ещё с древних времен. Так, Платон (430 г. до н.э.) установил закон прямолинейного распространения света. В трактатах Евклида формулируется закон прямолинейного распространения света и закон равенства углов падения и отражения. Аристотель и Птолемей изучали преломление света. Но точных формулировок этих ***законов геометрической оптики*** греческим философам найти не удалось. ***Геометрическая оптика*** является предельным случаем волновой оптики, когда ***длина световой волны стремится к нулю.*** Простейшие оптические явления, например возникновение теней и получение изображений в оптических приборах, могут быть поняты в рамках геометрической оптики.

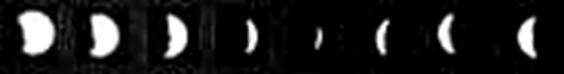
В основу формального построения геометрической оптики положено ***четыре закона***, установленных опытным путем:· закон прямолинейного распространения света;· закон независимости световых лучей;· закон отражения;· закон преломления света.Для анализа этих законов Х. Гюйгенс предложил простой и наглядный метод, названный впоследствии ***принципом Гюйгенса***. ***Каждая точка, до которой доходит световое возбуждение, является*, *в свою очередь,*** *центром вторичных волн***; *поверхность, огибающая в некоторый момент времени эти вторичные волны, указывает положение к этому моменту фронта действительно распространяющейся волны.***

|  |  |
| --- | --- |
| https://questions-physics.ru/images/image1362.jpg | **Гюйгенс Христиан** (1629–1695), нидерландский ученый. В 1665–1681 гг. работал в Париже. Изобрел (1657) маятниковые часы со спусковым механизмом, дал их теорию, установил законы колебаний физического маятника. Опубликовал в 1690 г. созданную им в 1678 г. волновую теорию света, объяснил двойное лучепреломление. Усовершенствовал телескоп; сконструировал окуляр, названный его именем. Открыл кольцо у Сатурна и его спутник Титан. Автор одного из первых трудов по теории вероятностей (1657 г.). |

Основываясь на своем методе, Гюйгенс объяснил ***прямолинейность распространения света*** и вывел***законы отражения*** и ***преломления***. ***Закон прямолинейного распространения света***:· *свет в оптически однородной среде распространяется прямолинейно*. Доказательством этого закона является наличие тени с резкими границами от непрозрачных предметов при освещении их источниками малых размеров. Тщательные эксперименты показали, однако, что этот закон нарушается, если свет проходит через очень малые отверстия, причем отклонение от прямолинейности распространения тем больше, чем меньше отверстия.



Тень, отбрасываемая предметом, обусловлена ***прямолинейностью распространения световых лучей*** в оптически однородных средах. Рис 7.1Астрономической иллюстрацией ***прямолинейного распространения света*** и, в частности, образования тени и полутени может служить затенение одних планет другими, например ***затмение Луны****,* когда Луна попадает в тень Земли (рис. 7.1). Вследствие взаимного движения Луны и Земли тень Земли перемещается по поверхности Луны, и лунное затмение проходит через несколько частных фаз (рис. 7.2).

Рис. 7.2

***Закон независимости световых пучков***:· *эффект, производимый отдельным пучком, не зависит от того*, *действуют ли одновременно остальные пучки или они устранены.* Разбивая световой поток на отдельные световые пучки (например, с помощью диафрагм), можно показать, что действие выделенных световых пучков независимо. ***Закон отражения*** (рис. 7.3):· *отраженный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром*, *проведенным к границе раздела двух сред в точке падения*;· *угол падения* α *равен углу отражения* γ: α = γ

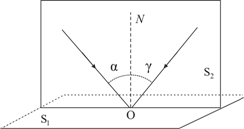
**

Рис. 7.3

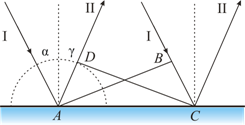
**

Рис. 7.4

***Для вывода закона отражения*** воспользуемся принципом Гюйгенса. Предположим, что плоская волна (фронт волны *АВ*), распространяющаяся в вакууме вдоль направления I со скоростью *с*, падает на границу раздела двух сред (рис. 7.4). Когда фронт волны *АВ* достигнет отражающей поверхности в точке *А*, эта точка начнет излучать ***вторичную волну***.· Для прохождения волной расстояния *ВС* требуется время Δ*t* = *BC/υ.* За это же время фронт вторичной волны достигнет точек полусферы, радиус *AD* которой равен: *υ*Δ*t = ВС.* Положение фронта отраженной волны в этот момент времени в соответствии с принципом Гюйгенса задается плоскостью *DC,* а направление распространения этой волны – лучом II. Из равенства треугольников *ABC* и *ADC* вытекает *закон отражения*: *угол падения* α *равен углу отражения* γ*.****Закон преломления* (*закон Снелиуса*)** (рис. 7.5):· *луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, проведенный к границе раздела в точке падения, лежат в одной плоскости;* · *отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных сред.*

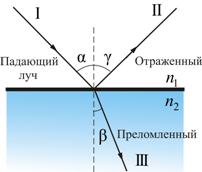


Рис. 7.5

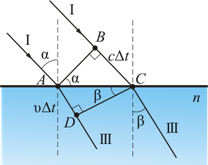


Рис. 7.6

***Вывод закона преломления.*** Предположим, что плоская волна (фронт волны *АВ*), распространяющаяся в вакууме вдоль направления I со скоростью *с*, падает на границу раздела со средой, в которой скорость ее распространения равна *u* (рис. 7.6).Пусть время, затрачиваемое волной для прохождения пути *ВС*, равно D*t*. Тогда *ВС = с*D*t.* За это же время фронт волны, возбуждаемой точкой *А* в среде со скоростью *u,* достигнет точек полусферы, радиус которой *AD = u*D*t.* Положение фронта преломленной волны в этот момент времени в соответствии с принципом Гюйгенса задается плоскостью *DC,* а направление ее распространения – лучом III*.* Из рис. 7.6 видно, чтоhttps://questions-physics.ru/images/image1377.png , т.е. https://questions-physics.ru/images/image1379.png.Отсюда следует ***закон Снелиуса***:https://questions-physics.ru/images/image1381.png .Несколько иная формулировка закона распространения света была дана французским математиком и физиком П. Ферма.

|  |  |
| --- | --- |
| https://questions-physics.ru/images/image1383.jpg | **Ферма Пьер** (1601–1665) – французский математик и физик. Родился в Бомон-де-Ломань. Получил юридическое образование. С 1631 г. был советником парламента в Тулузе. |

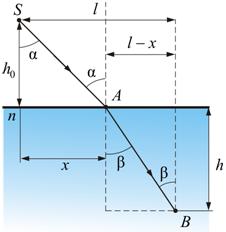
Физические исследования относятся большей частью к оптике, где он установил в 1662 г. основной принцип геометрической оптики (принцип Ферма). Аналогия между принципом Ферма и вариационными принципами механики сыграла значительную роль в развитии современной динамики и теории оптических инструментов. Согласно ***принципу Ферма****, свет распространяется между двумя точками по пути, для прохождения которого необходимо* ***наименьшее время****.* Покажем применение этого принципа к решению той же задачи о преломлении света. Луч от источника света *S*, расположенного в вакууме идет до точки *В*, расположенной в некоторой среде за границей раздела (рис. 7.7).

Рис. 7.7

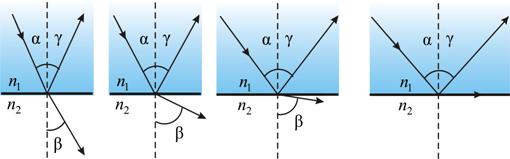
В каждой среде кратчайшим путем будут прямые *SA* и *AB*. Точку *A* охарактеризуем расстоянием *x* от перпендикуляра, опущенного из источника на границу раздела. Определим время, затраченное на прохождение пути *SAB*:https://questions-physics.ru/images/image1387.png .Для нахождения минимума найдем первую производную от τ по *х* и приравняем ее к нулю:https://questions-physics.ru/images/image1389.png ,отсюда приходим к тому же выражению, что получено исходя из принципа Гюйгенса: https://questions-physics.ru/images/image1391.png.Принцип Ферма сохранил свое значение до наших дней и послужил основой для общей формулировки законов механики (в том числе теории относительности и квантовой механики).Из принципа Ферма вытекает несколько следствий. ***Обратимость световых лучей***: *если обратить луч* III (рис. 7.7), *заставив его падать на границу раздела под углом* β, *то преломленный луч в первой среде будет распространяться под углом* α, *т. е. пойдет в обратном направлении вдоль луча* I*.* ***Другой пример – мираж***, который часто наблюдают путешественники на раскаленных солнцем дорогах. Они видят впереди оазис, но когда приходят туда, кругом оказывается песок. Сущность в том, что мы видим в этом случае свет, прошедший над песком. Воздух сильно раскален над самой дорогой, а в верхних слоях холоднее. Горячий воздух, расширяясь, становится более разреженным и скорость света в нем больше, чем в холодном. Поэтому свет проходит не по прямой, а по траектории с наименьшим временем, заворачивая в теплые слои воздуха. *Если свет распространяется из* ***среды с большим показателем преломления https://questions-physics.ru/images/image1393.png***(оптически более плотной) ***в среду с меньшим показателем преломления https://questions-physics.ru/images/image1395.png***(оптически менее плотной) ( https://questions-physics.ru/images/image1393.png> https://questions-physics.ru/images/image1395.png)*,* например из стекла в воздух, то, согласно закону преломления, ***преломленный луч удаляется от нормали*** и угол преломления β больше, чем угол падения α (рис. 7.8 *а*)*.*

Рис.7.8

С увеличением угла падения увеличивается угол преломления (рис. 7.8 *б*, *в*), до тех пор, пока при некотором угле падения ( https://questions-physics.ru/images/image1401.png) угол преломления не окажется равным π/2.Угол https://questions-physics.ru/images/image1403.pngназывается ***предельным углом***. При углах падения α *>* https://questions-physics.ru/images/image1403.pngвесь падающий свет полностью отражается (рис. 7.8 *г*)*.*· По мере приближения угла падения к предельному, интенсивность преломленного луча уменьшается, а отраженного – растет.· Если https://questions-physics.ru/images/image1401.png, то интенсивность преломленного луча обращается в нуль, а интенсивность отраженного равна интенсивности падающего (рис. 7.8 *г*)*.* · *Таким образом*, *при углах падения в пределах от https://questions-physics.ru/images/image1403.pngдо π/2*, *луч не преломляется*, *а полностью отражается в первую среду*, *причем интенсивности отраженного и падающего лучей одинаковы. Это явление называется* ***полным отражением.***Предельный угол https://questions-physics.ru/images/image1403.pngопределим из формулы:https://questions-physics.ru/images/image1409.png ;https://questions-physics.ru/images/image1411.png .***Явление полного отражения используется в призмах полного отражения*** (Рис. 7.9).

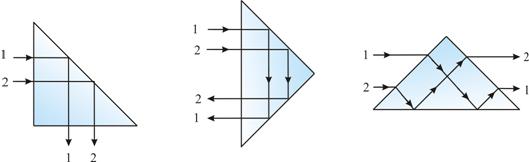


Рис. 7.9

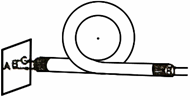
Показатель преломления стекла равен n » 1,5, поэтому предельный угол для границы стекло – воздух *https://questions-physics.ru/images/image1403.png*= arcsin (1/1,5) = 42°.При падении света на границу стекло – воздух при α *>* 42° всегда будет иметь место полное отражение. На рис. 7.9 показаны призмы полного отражения, позволяющие:

а) повернуть луч на 90°;

б) повернуть изображение;

в) обернуть лучи.

***Призмы полного отражения применяются в оптических приборах*** (например, в биноклях, перископах), а также в рефрактометрах, позволяющих определять показатели преломления тел (по закону преломления, измеряя https://questions-physics.ru/images/image1403.png, определяем относительный показатель преломления двух сред, а также абсолютный показатель преломления одной из сред, если показатель преломления второй среды известен).



Явление полного отражения используется также в ***световодах***, представляющих собой тонкие, произвольным образом изогнутые нити (волокна) из оптически прозрачного материала. Рис. 7.10 В волоконных деталях применяют стеклянное волокно, световедущая жила (сердцевина) которого окружается стеклом – оболочкой из другого стекла с меньшим показателем преломления. Свет, падающий на торец световода ***под углам больше предельного***, претерпевает на поверхности раздела сердцевины и оболочки ***полное отражение*** и распространяется только по световедущей жиле. Световоды используются при создании ***телеграфно-телефонных кабелей большой емкости***. Кабель состоит из сотен и тысяч оптических волокон тонких, как человеческий волос. По такому кабелю, толщиной в обычный карандаш, можно одновременно передавать до восьмидесяти тысяч телефонных разговоров. Кроме того, световоды используются в оптоволоконных электронно-лучевых трубках, в электронно-счетных машинах, для кодирования информации, в медицине (например, диагностика желудка), для целей интегральной оптики.

**Тонкие линзы**

***Линзой*** называется прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями. Если толщина самой линзы мала по сравнению с радиусами кривизны сферических поверхностей, то линзу называют ***тонкой***.

Линзы входят в состав практически всех оптических приборов. Линзы бывают ***собирающими*** и ***рассеивающими***. Собирающая линза в середине толще, чем у краев, рассеивающая линза, наоборот, в средней части тоньше (рис. 3.3.1).

|  |
| --- |
| https://questions-physics.ru/images/image001-53.png |
| Рисунок 3.3.1. Собирающие (a) и рассеивающие (b) линзы и их условные обозначения |

Прямая, проходящая через центры кривизны *O*1 и *O*2 сферических поверхностей, называется ***главной оптической осью*** линзы. В случае тонких линз приближенно можно считать, что главная оптическая ось пересекается с линзой в одной точке, которую принято называть ***оптическим центром*** линзы *O*. Луч света проходит через оптический центр линзы, не отклоняясь от первоначального направления. Все прямые, проходящие через оптический центр, называются ***побочными оптическими осями***.

Если на линзу направить пучок лучей, параллельных главной оптической оси, то после прохождения через линзу лучи (или их продолжения) соберутся в одной точке *F*, которая называется ***главным фокусом*** линзы. У тонкой линзы имеются два главных фокуса, расположенных симметрично на главной оптической оси относительно линзы. У собирающих линз фокусы действительные, у рассеивающих – мнимые. Пучки лучей, параллельных одной из побочных оптических осей, после прохождения через линзу также фокусируются в точку *F’*, которая расположена при пересечении побочной оси с ***фокальной плоскостью*** *Ф*, то есть плоскостью, перпендикулярной главной оптической оси и проходящей через главный фокус (рис. 3.3.2). Расстояние между оптическим центром линзы *O* и главным фокусом *F* называется фокусным расстоянием. Оно обозначается той же буквой *F*.

|  |
| --- |
| https://questions-physics.ru/images/image002-56.png |
| Рисунок 3.3.2. Преломление параллельного пучка лучей в собирающей (a) и рассеивающей (b) линзах. Точки *O*1 и *O*2 – центры сферических поверхностей, *O*1*O*2 – главная оптическая ось, *O* – оптический центр, *F* – главный фокус, *F’* – побочный фокус, *OF’* – побочная оптическая ось, Ф – фокальная плоскость |

Основное свойство линз – способность давать ***изображения предметов***. Изображения бывают ***прямыми*** и ***перевернутыми***, ***действительными*** и ***мнимыми***, ***увеличенными*** и ***уменьшенными***.

Положение изображения и его характер можно определить с помощью геометрических построений. Для этого используют свойства некоторых стандартных лучей, ход которых известен. Это лучи, проходящие через оптический центр или один из фокусов линзы, а также лучи, параллельные главной или одной из побочных оптических осей. Примеры таких построений представлены на рис. 3.3.3 и 3.3.4.

|  |
| --- |
| https://questions-physics.ru/images/image003-57.png |
| Рисунок 3.3.3. Построение изображения в собирающей линзе |
| https://questions-physics.ru/images/image004-55.png |
| Рисунок 3.3.4. Построение изображения в рассеивающей линзе |

Следует обратить внимание на то, что некоторые из стандартных лучей, использованных на рис. 3.3.3 и 3.3.4 для построения изображений, не проходят через линзу. Эти лучи реально не участвуют в образовании изображения, но они могут быть использованы для построений.

Положение изображения и его характер (действительное или мнимое) можно также рассчитать с помощью ***формулы тонкой линзы***. Если расстояние от предмета до линзы обозначить через *d*, а расстояние от линзы до изображения через *f*, то формулу тонкой линзы можно записать в виде:

https://questions-physics.ru/images/image005-59.png

Величину *D*, обратную фокусному расстоянию. называют ***оптической силой*** линзы. Единицой измерения оптической силы является ***диоптрия*** (дптр). Диоптрия – оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 1 м:

|  |
| --- |
| 1 дптр = м–1. |

Формула тонкой линзы аналогична формуле сферического зеркала. Ее можно получить для параксиальных лучей из подобия треугольников на рис. 3.3.3 или 3.3.4.

Фокусным расстояниям линз принято приписывать определенные знаки: для собирающей линзы *F* > 0, для рассеивающей *F* < 0.

Величины *d* и *f* также подчиняются определенному правилу знаков:

*d* > 0 и *f* > 0 – для действительных предметов (то есть реальных источников света, а не продолжений лучей, сходящихся за линзой) и изображений;

*d* < 0 и *f* < 0 – для мнимых источников и изображений.

Для случая, изображенного на рис. 3.3.3, имеем: *F* > 0 (линза собирающая), *d* = 3*F* > 0 (действительный предмет).

По формуле тонкой линзы получим: https://questions-physics.ru/images/image006-54.png , следовательно, изображение действительное.

В случае, изображенном на рис. 3.3.4, *F* < 0 (линза рассеивающая), *d* = 2|*F*| > 0 (действительный предмет), https://questions-physics.ru/images/image007-55.png, то есть изображение мнимое.

В зависимости от положения предмета по отношению к линзе изменяются линейные размеры изображения. ***Линейным увеличением*** линзы Γ называют отношение линейных размеров изображения *h’* и предмета *h*. Величине *h’*, как и в случае сферического зеркала, удобно приписывать знаки плюс или минус в зависимости от того, является изображение прямым или перевернутым. Величина *h* всегда считается положительной. Поэтому для прямых изображений Γ > 0, для перевернутых Γ < 0. Из подобия треугольников на рис. 3.3.3 и 3.3.4 легко получить формулу для линейного увеличения тонкой линзы:

https://questions-physics.ru/images/image008-54.png

В рассмотренном примере с собирающей линзой (рис. 3.3.3): *d* = 3*F* > 0, https://questions-physics.ru/images/image006-54.png , следовательно, https://questions-physics.ru/images/image009-51.png – изображение перевернутое и уменьшенное в 2 раза.

В примере с рассеивающей линзой (рис. 3.3.4): *d* = 2|*F*| > 0, https://questions-physics.ru/images/image010-46.png; следовательно, https://questions-physics.ru/images/image011-44.png  – изображение прямое и уменьшенное в 3 раза.

Оптическая сила *D* линзы зависит как от радиусов кривизны *R*1 и *R*2 ее сферических поверхностей, так и от показателя преломления *n* материала, из которого изготовлена линза. В курсах оптики доказывается следующая формула:

https://questions-physics.ru/images/image012-41.png

Радиус кривизны выпуклой поверхности считается положительным, вогнутой – отрицательным. Эта формула используется при изготовлении линз с заданной оптической силой.

Во многих оптических приборах свет последовательно проходит через две или несколько линз. Изображение предмета, даваемое первой линзой, служит предметом (действительным или мнимым) для второй линзы, которая строит второе изображение предмета. Это второе изображение также может быть действительным или мнимым. Расчет оптической системы из двух тонких линз сводится к двукратному применению формулы линзы, при этом расстояние *d*2 от первого изображения до второй линзы следует положить равным величине *l* – *f*1, где *l* – расстояние между линзами. Рассчитанная по формуле линзы величина *f*2 определяет положение второго изображения и его характер (*f*2 > 0 – действительное изображение, *f*2 < 0 – мнимое). Общее линейное увеличение Γ системы из двух линз равно произведению линейных увеличений обеих линз: Γ = Γ1 · Γ2. Если предмет или его изображение находятся в бесконечности, то линейное увеличение утрачивает смысл, изменяются только угловые расстояния.

Частным случаем является телескопический ход лучей в системе из двух линз, когда и предмет, и второе изображение находятся на бесконечно больших расстояниях. Телескопический ход лучей реализуется в зрительных трубах – ***астрономической трубе Кеплера*** и ***земной трубе Галилея***.

Тонкие линзы обладают рядом недостатков, не позволяющих получать высококачественные изображения. Искажения, возникающие при формировании изображения, называются ***аберрациями***. Главные из них – ***сферическая*** и ***хроматическая*** аберрации. Сферическая аберрация проявляется в том, что в случае широких световых пучков лучи, далекие от оптической оси, пересекают ее не в фокусе. Формула тонкой линзы справедлива только для лучей, близких к оптической оси. Изображение удаленного точечного источника, создаваемое широким пучком лучей, преломленных линзой, оказывается размытым.

Хроматическая аберрация возникает вследствие того, что показатель преломления материала линзы зависит от длины волны света λ. Это свойство прозрачных сред называется дисперсией. Фокусное расстояние линзы оказывается различным для света с разными длинами волн, что приводит к размытию изображения при использовании немонохроматического света.

В современных оптических приборах применяются не тонкие линзы, а сложные многолинзовые системы, в которых удается приближенно устранить различные аберрации.

Формирование собирающей линзой действительного изображения предмета используется во многих оптических приборах, таких как фотоаппарат, проектор и т. д.

***Фотоаппарат*** представляет собой замкнутую светонепроницаемую камеру. Изображение фотографируемых предметов создается на фотопленке системой линз, которая называется ***объективом***. Специальный затвор позволяет открывать объектив на время экспозиции.

Особенностью работы фотоаппарата является то, что на плоской фотопленке должны получаться достаточно резкими изображения предметов, находящихся на разных расстояниях.

В плоскости фотопленки получаются резкими только изображения предметов, находящихся на определенном расстоянии. Наведение на резкость достигается перемещением объектива относительно пленки. Изображения точек, не лежащих в плоскости резкого наведения, получаются размытыми в виде кружков рассеяния. Размер *d* этих кружков может быть уменьшен путем диафрагмирования объектива, т.е. уменьшения **относительного отверстия** *a* / *F* (рис. 3.3.5). Это приводит к увеличению глубины резкости.

|  |
| --- |
| https://questions-physics.ru/images/image013-39.png |
| Рисунок 3.3.5. Фотоаппарат |

***Проекционный аппарат*** предназначен для получения крупномасштабных изображений. Объектив *O* проектора фокусирует изображение плоского предмета (диапозитив *D*) на удаленном экране Э (рис. 3.3.6). Система линз *K*, называемая ***конденсором***, предназначена для того, чтобы сконцентрировать свет источника *S* на диапозитиве. На экране Э создается действительное увеличенное перевернутое изображение. Увеличение проекционного аппарата можно менять, приближая или удаляя экран Э с одновременным изменением расстояния между диапозитивом *D* и объективом *O*.

|  |
| --- |
| https://questions-physics.ru/images/image014-37.png |
| Рисунок 3.3.6. Проекционный аппарат |

|  |
| --- |
|  |

# Зеркала

Простейшим оптическим устройством, способным создавать изображение предмета, является **плоское зеркало**. Изображение предмета, даваемое плоским зеркалом, формируется за счет лучей, отраженных от зеркальной поверхности. Это изображение является мнимым, так как оно образуется пересечением не самих отраженных лучей, а их продолжений в «зазеркалье» (рис 3.2.1).

|  |
| --- |
| https://questions-physics.ru/images/image001-52.png |
| Рисунок 3.2.1. Ход лучей при отражении от плоского зеркала. Точка S’ является мнимым изображением точки S |

Вследствие закона отражения света мнимое изображение предмета располагается симметрично относительно зеркальной поверхности. Размер изображения равен размеру самого предмета.

**Сферическим зеркалом** называют зеркально отражающую поверхность, имеющую форму сферического сегмента. Центр сферы, из которой вырезан сегмент, называют **оптическим центром** **зеркала**. Вершину сферического сегмента называют **полюсом**. Прямая, проходящая через оптический центр и полюс зеркала, называется **главной оптической осью** сферического зеркала. Главная оптическая ось выделена из всех других прямых, проходящих через оптический центр, только тем, что она является осью симметрии зеркала.

Сферические зеркала бывают **вогнутыми** и **выпуклыми**. Если на вогнутое сферическое зеркало падает пучок лучей, параллельный главной оптической оси, то после отражения от зеркала лучи пересекутся в точке, которая называется **главным фокусом** F зеркала. Расстояние от фокуса до полюса зеркала называют **фокусным расстоянием** и обозначают той же буквой F. У вогнутого сферического зеркала главный фокус действительный. Он расположен посередине между центром и полюсом зеркала (рис 3.2.2).

|  |
| --- |
| https://questions-physics.ru/images/image002-55.png |
| Рисунок 3.2.2. Отражение параллельного пучка лучей от вогнутого сферического зеркала. Точки O – оптический центр, P – полюс, F – главный фокус зеркала; OP – главная оптическая ось, R – радиус кривизны зеркала |

Следует иметь в виду, что отраженные лучи пересекаются приблизительно в одной точке только в том случае, если падающий параллельный пучок был достаточно узким (так называемый **параксиальный пучок**).

Главный фокус выпуклого зеркала является мнимым. Если на выпуклое зеркало падает пучок лучей, параллельных главной оптической оси, то после отражения в фокусе пересекутся не сами лучи, а их продолжения (рис 3.2.3).

|  |
| --- |
| https://questions-physics.ru/images/image003-56.png |
| Рисунок 3.2.3. Отражение параллельного пучка лучей от выпуклого зеркала. F – мнимый фокус зеркала, O – оптический центр; OP – главная оптическая ось |

Фокусным расстояниям сферических зеркал приписывается определенный знак: для вогнутого зеркала https://questions-physics.ru/images/image004-54.png  для выпуклого https://questions-physics.ru/images/image005-58.png, где R – радиус кривизны зеркала.

Изображение какой-либо точки A предмета в сферическом зеркале можно построить с помощью любой пары стандартных лучей:

•             луч AOC, проходящий через оптический центр зеркала; отраженный луч COA идет по той же прямой;

•             луч AFD, идущий через фокус зеркала; отраженный луч идет параллельно главной оптической оси;

•             луч AP, падающий на зеркало в его полюсе; отраженный луч симметричен с падающим относительно главной оптической оси.

•             луч AE, параллельный главной оптической оси; отраженный луч EFA1 проходит через фокус зеркала.

На рис 3.2.4 перечисленные выше стандартные лучи изображены для случая вогнутого зеркала. Все эти лучи проходят через точку A’, которая является изображением точки A. Все остальные отраженные лучи также проходят через точку A’. Ход лучей, при котором **все** лучи, вышедшие из одной точки, собираются в другой точке, называется **стигматическим**. Отрезок A’B’ является изображением предмета AB. Аналогичны построения для случая выпуклого зеркала.

|  |
| --- |
| https://questions-physics.ru/images/image006-53.png |
| Рисунок 3.2.4. Построение изображения в вогнутом сферическом зеркале |

Положение изображения и его размер можно также определить с помощью **формулы сферического зеркала**:

https://questions-physics.ru/images/image007-54.png

Здесь d – расстояние от предмета до зеркала, f – расстояние от зеркала до изображения. Величины d и f подчиняются определенному правилу знаков:

•             d > 0 и f > 0 – для действительных предметов и изображений;

•             d < 0 и f < 0 – для мнимых предметов и изображений.

Для случая, изображенного на рис 3.2.4, имеем:

F > 0 (зеркало вогнутое); d = 3F > 0 (действительный предмет).

По формуле сферического зеркала получаем: https://questions-physics.ru/images/image008-53.png следовательно, изображение действительное.

Если бы на месте вогнутого зеркала стояло выпуклое зеркало с тем же по модулю фокусным расстоянием, мы получили бы следующий результат:

F < 0,         d = –3F > 0,         https://questions-physics.ru/images/image009-50.png   – изображение мнимое.

Линейное увеличение сферического зеркала Γ определяется как отношение линейных размеров изображения h‘ и предмета h.

Величине h‘ удобно приписывать определенный знак в зависимости от того, является изображение прямым (h’ > 0) или перевернутым (h’ < 0). Величина h всегда считается положительной. При таком определении линейное увеличение сферического зеркала выражается формулой, которую можно легко получить из рис 3.2.4:

https://questions-physics.ru/images/image010-45.png

В первом из рассмотренных выше примеров https://questions-physics.ru/images/image011-43.png  – следовательно, изображение перевернутое, уменьшенное в 2 раза. Во втором примере https://questions-physics.ru/images/image012-40.png – изображение прямое, уменьшенное в 4 раза.

# Глаз как оптический инструмент

Глаз человека представляет собой сложную оптическую систему, которая по своему действию аналогична оптической системе фотоаппарата. Схематическое устройство глаза представлено на рис. 3.4.1. Глаз имеет почти шарообразную форму и диаметр около 2,5 см. Снаружи он покрыт защитной оболочкой 1 белого цвета – **склерой**. Передняя прозрачная часть 2 склеры называется **роговицей**. На некотором расстоянии от нее расположена **радужная оболочка** 3, окрашенная пигментом. Отверстие в радужной оболочке представляет собой **зрачок**. В зависимости от интенсивности падающего света зрачок рефлекторно изменяет свой диаметр приблизительно от 2 до 8 мм, т.е. действует подобно диафрагме фотоаппарата. Между роговицей и радужной оболочкой находится прозрачная жидкость. За зрачком находится **хрусталик** 4 – эластичное линзоподобное тело. Особая мышца 5 может изменять в некоторых пределах форму хрусталика, изменяя тем самым его оптическую силу. Остальная часть глаза заполнена стекловидным телом. Задняя часть глаза – глазное дно, оно покрыто **сетчатой оболочкой** 6, представляющей собой сложное разветвление **зрительного нерва** 7 с нервными окончаниями – **палочками** и **колбочками**, которые являются светочувствительными элементами.

|  |
| --- |
| https://questions-physics.ru/images/image001-54.png |
| Рисунок 3.4.1.Глаз человека |

Лучи света от предмета, преломляясь на границе воздух–роговица, проходят далее через хрусталик (линзу с изменяющейся оптической силой) и создают изображение на сетчатке.

Роговица, прозрачная жидкость, хрусталик и стекловидное тело образуют оптическую систему, оптический центр которой расположен на расстоянии около 5 мм от роговицы. При расслабленной глазной мышце оптическая сила глаза приблизительно равна 59 дптр, при максимальном напряжении мышцы – 70 дптр.

Основная особенность глаза как оптического инструмента состоит в способности рефлекторно изменять оптическую силу глазной оптики в зависимости от положения предмета. Такое приспособление глаза к изменению положения наблюдаемого предмета называется **аккомодацией**.

**Область аккомодации** глаза можно определить положением двух точек:

•             **дальняя точка аккомодации** определяется положением предмета, изображение которого получается на сетчатке при расслабленной глазной мышце. У **нормального глаза** дальняя точка аккомодации находится в бесконечности.

•             **ближняя точка аккомодации** – расстояние от рассматриваемого предмета до глаза при максимальном напряжении глазной мышцы. Ближняя точка нормального глаза располагается на расстоянии 10–20 см от глаза. С возрастом это расстояние увеличивается.

Кроме этих двух точек, определяющих границы области аккомодации, у глаза существует **расстояние наилучшего зрения**, т. е. расстояние от предмета до глаза, при котором удобнее всего (без чрезмерного напряжения) рассматривать детали предмета (например, читать мелкий текст). Это расстояние у нормального глаза условно полагают равным 25 см.

При нарушении зрения изображения удаленных предметов в случае ненапряженного глаза могут оказаться либо перед сетчаткой (**близорукость**), либо за сетчаткой (**дальнозоркость**) (рис. 3.4.2).

|  |
| --- |
| https://questions-physics.ru/images/image002-57.png |
| Рисунок 3.4.2. Изображение удаленного предмета в глазе: a – нормальный глаз; b – близорукий глаз; с – дальнозоркий глаз |

Расстояние наилучшего зрения у близорукого глаза меньше, а у дальнозоркого больше, чем у нормального глаза. Для исправления дефекта зрения служат очки. Для дальнозоркого глаза необходимы очки с положительной оптической силой (собирающие линзы), для близорукого – с отрицательной оптической силой (рассеивающие линзы).

Для наблюдения удаленных предметов оптическая сила линз должна быть такой, чтобы параллельные пучки фокусировались на сетчатке глаза. Глаз должен видеть через очки мнимое прямое изображение удаленного предмета, находящееся в дальней точке аккомодации данного глаза. Если, например, дальняя точка аккомодации близорукого глаза находится на расстоянии 80 см, то применяя формулу тонкой линзы получим:

d = ∞, f = –0,8 м, следовательно, https://questions-physics.ru/images/image003-58.png дптр.

Следует отметить, что у дальнозоркого глаза дальняя точка аккомодации мнимая, т. е. ненапряженный глаз фокусирует на сетчатке сходящийся пучок лучей. Потому при рассмотрении удаленных предметов очки для дальнозоркого глаза должны превращать параллельный пучок лучей в сходящийся, т. е. обладать положительной оптической силой.

Очки для «ближнего зрения» (например, для чтения) должны создавать мнимое изображение предмета, находящегося на расстоянии d0 = 25 см (т. е. на расстоянии наилучшего зрения нормального глаза), на расстоянии наилучшего зрения данного глаза. Пусть, например, близорукий глаз имеет расстояние наилучшего зрения 16 см. По формуле тонкой линзы получим: d = d0 = 0,25 м, f = –0,16 м, следовательно, https://questions-physics.ru/images/image004-56.png  дптр. Вследствие сужения области аккомодации у многих людей очки для ближнего зрения должны обладать большей (по модулю) оптической силой по сравнению с очками для рассматривания удаленных предметов.

Рис. 3.4.3 иллюстрирует коррекцию дальнозоркого и близорукого глаза с помощью очков.

|  |
| --- |
| https://questions-physics.ru/images/image005-60.png |
| Рисунок 3.4.3. Подбор очков для чтения для дальнозоркого (a) и близорукого (b) глаза. Предмет A располагается на расстоянии d = d0 = 25 см наилучшего зрения нормального глаза. Мнимое изображение A’ располагается на расстоянии f, равном расстоянию наилучшего зрения данного глаза |