



3.6. Оптика

3.6.1. Прямолинейное распространение света



3

Оптика — это раздел физики, изучающий законы излучения, распространения света и взаимодействие его с веществами.

Геометрическая оптика — это раздел оптики, в котором изучаются законы распространения света в прозрачных веществах (средах) и построения изображений предметов с помощью оптических систем, в которые входят зеркала, линзы, призмы и другие оптические элементы.

Скорость света в свободном пространстве (вакууме) — это скорость распространения любых электромагнитных волн, в том числе световых.

Скорость света в вакууме: $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

По современным данным, скорость света в вакууме равна $299\,792\,458 \pm 1,2$ м/с.

Скорость света в среде зависит от показателя преломления этой среды:

$$v = \frac{c}{n},$$

где n — показатель преломления среды.

Закон независимости световых пучков или световых лучей

Два луча распространяются независимо друг от друга, т. е. не влияя друг на друга.

Закон прямолинейного распространения света

В однородной среде свет распространяется прямолинейно.

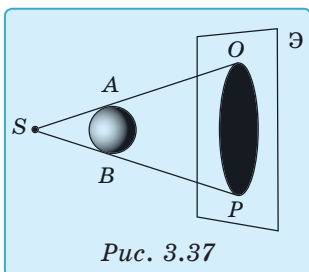


Рис. 3.37

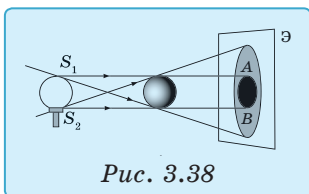


Рис. 3.38

Световой луч — это линия, вдоль которой распространяется поток энергии волны, испущенный источником света в определенном направлении.

При освещении предмета точечным источником света за ним образуется тень (рис. 3.37).

От источника больших размеров (сравнимых с размерами предмета и расстоянием до него и до экрана)

образуются тень и полутень (рис. 3.38). Тень образуется в том месте на экране, куда не доходят лучи ни от одной из точек источника. Полутень образуется в местах, куда доходят лучи только от некоторых точек источника.

3.6.2. Закон отражения света

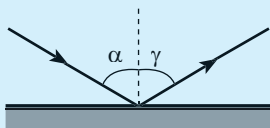
▶ Законы отражения света:

1. Отраженный луч лежит в той же плоскости, в которой лежат падающий луч и перпендикуляр, восстановленный к отражающей поверхности в точке падения луча.
2. Угол падения равен углу отражения (рис. 3.39):

$$\alpha = \gamma$$

Луч падающий и луч отраженный взаимно обратимы.





α — угол падения;
 γ — угол отражения

Рис. 3.39

3

3.6.3. Построение изображений в плоском зеркале

Оптическое изображение — это картина, получаемая в результате прохождения через оптическую систему лучей, распространяющихся от объекта, и воспроизводящая его контуры и детали.

Оптические изображения делятся на действительные и мнимые.

Действительным изображением называют такое изображение, которое получается в результате пересечения реальных (действительных) лучей, вышедших из оптической системы.

Мнимым изображением называется изображение, которое получается в результате воображаемого пересечения расходящихся лучей, вышедших из оптической системы.

После отражения в зеркале в глаз чело-

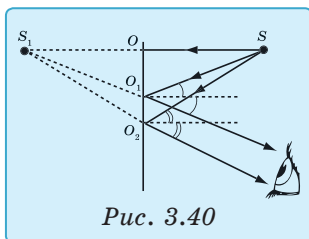


Рис. 3.40

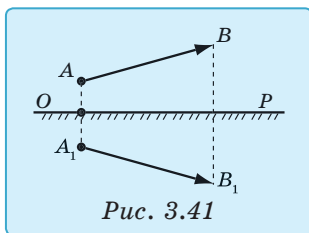


Рис. 3.41



века попадает расходящийся пучок лучей (рис. 3.40). Если продолжить каждый из отраженных лучей за зеркало, то они пересекутся в одной точке S_1 , которая является мнимым изображением точки S .

▶ **Изображение в плоском зеркале:**

- ▶ мнимое;
- ▶ прямое (т. е. неперевернутое);
- ▶ равное по размеру самому предмету;
- ▶ находится на таком же расстоянии от зеркала, что и предмет;
- ▶ линия, соединяющая точку на предмете с соответствующей точкой на его изображении, перпендикулярна плоскости зеркала.

3.6.4. Закон преломления света

Преломление света — это изменение направления распространения светового луча при его прохождении через границу раздела двух прозрачных сред.



▶ **Законы преломления света:**

1. Луч падающий и луч преломленный лежат в одной плоскости с нормалью, проведенной к границе раздела двух сред в точке падения луча.
2. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления постоянно:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = n,$$

где α — угол падения;

β — угол преломления;

n — относительный показатель преломления.



$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$$

Абсолютный показатель преломления:

$$n_1 = \frac{c}{v_1}$$

Показатель преломления, или коэффициент преломления — это оптическая характеристика среды, связанная с преломлением света на границе раздела двух прозрачных, оптически однородных и изотропных сред при переходе из одной среды в другую и связанная с различием скоростей распространения света в этих средах.

3.6.5. Полное внутреннее отражение

Если пучок света переходит из оптически более плотной среды в оптически менее плотную (вакуум), то с увеличением угла падения возрастает угол преломления. При некотором угле падения α_0 угол преломления достигает своего максимального значения (90°):

$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin 90^\circ} = \frac{1}{n}$$

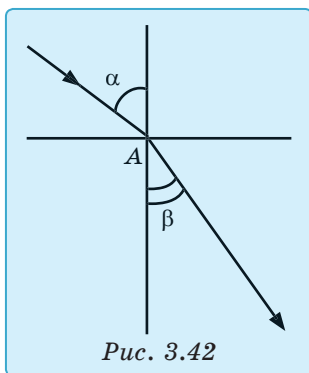


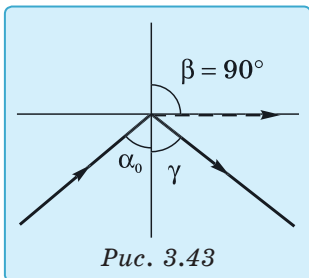
Рис. 3.42

Среда, в которой скорость света больше, называется **оптически менее плотной**.





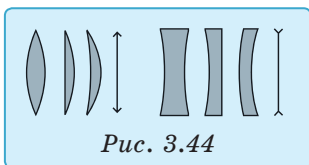
При угле падения $\alpha > \alpha_0$ свет полностью отражается от границы раздела, как от зеркала, и возникает явление полного внутреннего отражения (рис. 3.43).



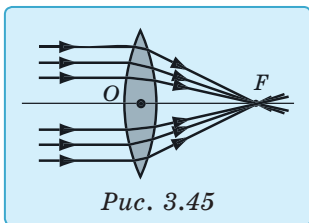
Минимальный угол падения, с которого возникает явление полного внутреннего отражения, называется *углом полного внутреннего отражения* (или *критическим углом*, или *предельным углом*).

3.6.6. Линзы. Оптическая сила линзы

Линза — это простейший оптический элемент, ограниченный с двух сторон сферическими поверхностями.



Линзы бывают выпуклые и вогнутые (рис. 3.44). Выпуклые линзы делятся на двояковыпуклые, плосковыпуклые и вогнутовыпуклые. Вогнутые линзы в свою очередь делятся на двояковогнутые, плосковогнутые и выпукловогнутые.



Тонкой линзой называется линза, толщина которой пре-



небрежимо мала по сравнению с радиусами кривизны ее поверхностей и расстоянием от предмета до линзы.

Прямая, проходящая через центры сферических поверхностей, ограничивающих линзу, называется главной оптической осью линзы.

Оптический центр линзы — центральная точка на главной оптической оси, через которую лучи проходят, не изменяя направление.

Если на выпуклую линзу направить пучок света параллельно ее главной оптической оси, то после преломления в линзе он соберется в некоторой точке F на оси линзы, которая называется *главным фокусом линзы* (рис. 3.45). Такие линзы называются положительными, или собирающими. У линзы имеется два главных фокуса — с каждой стороны по одному.

Пучок света, направленный параллельно оптической оси вогнутой линзы, после преломления в ней расходится (рис. 3.46). Если эти расходящиеся лучи продолжить в обратную сторону, они соберутся на оптической оси линзы (со стороны падающего пучка) в точку, которая называется *мнимым фокусом линзы*. Такая линза называется отрицательной, или рассеивающей.

Расстояние от центра линзы O до точки F называется **фокусным расстоянием линзы**.

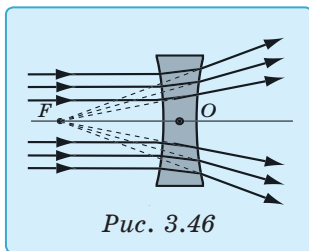


Рис. 3.46



Оптической силой линзы называется физическая величина, обратная фокусному расстоянию:

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

где F — фокусное расстояние; $[F] = 1\text{ м}$;

D — оптическая сила линзы; $[D] = 1/\text{м} = \text{дптр}$.

Фокусное расстояние собирающей линзы (и соответственно ее оптическую силу) условились считать положительной величиной, т. к. собирающая линза обладает действительным фокусом.

Фокусное расстояние рассеивающей линзы (и соответственно ее оптическая сила) — отрицательная величина, т. к. у рассеивающей линзы мнимый фокус.

3.6.7. Формула тонкой линзы

Формула тонкой линзы:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{d_1} = \frac{1}{F} \quad \text{или} \quad \frac{1}{d} + \frac{1}{d_1} = D,$$

где d — расстояние от предмета до линзы;

d_1 — расстояние от изображения до линзы.

Расстояние от изображения до линзы положительно, если изображение действительное, и отрицательно, если оно мнимое.



3.6.8. Построение изображений в линзах

Для образования оптического изображения точки в линзе достаточно двух лучей. В качестве таковых



выбираются любые два из трех, ход которых известен:

- ▶ луч, идущий параллельно оптической оси линзы, — луч AC , который после преломления пересекает оптическую ось в фокусе линзы F ;
- ▶ луч, проходящий через оптический центр линзы, который не меняет своего направления, — луч AA_1 ;
- ▶ луч, проходящий через фокус линзы, который после преломления пойдет параллельно главной оптической оси, — луч AD .

Точка A_1 пересечения этих трех лучей за линзой и будет изображением исходной точки A .

Построение изображения в рассеивающей линзе проводится аналогично. Но поскольку лучи после преломления в рассеивающей линзе не пересекаются, то в ее фокусе собираются продолжения этих лучей. Получаемое изображение, следовательно, является мнимым и прямым. Изображение предмета расположено всегда между фокусом и оптическим центром линзы, и поэтому оно всегда уменьшенное.

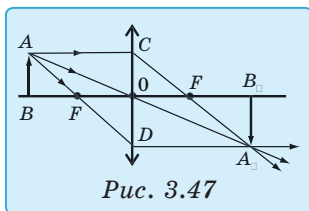


Рис. 3.47

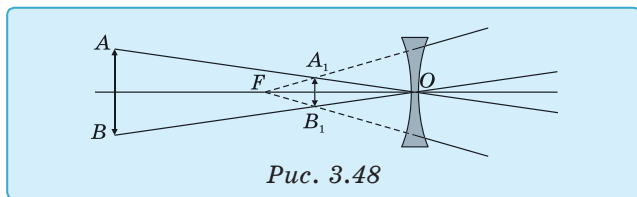


Рис. 3.48



3.6.9. Оптические приборы. Глаз как оптическая система



Оптические приборы — это такие устройства, в которых излучение какой-либо области спектра преобразуется. Они могут увеличивать, уменьшать, улучшать качество изображения, давать возможность увидеть искомый предмет косвенно.

Все оптические приборы можно разделить на две группы:

- ▶ приборы, при помощи которых получают оптические изображения на экране (проекционные аппараты, фотоаппараты, киноаппараты);
- ▶ приборы, которые действуют только совместно с человеческими глазами и не образуют изображений на экране (лупа, линза, микроскоп, телескоп).

На примере линзы рассмотрим основные параметры оптических систем.

Линейным увеличением линзы называется отношение линейного размера изображения к линейному размеру предмета:

Увеличение линзы равно отношению расстояния от изображения до линзы к расстоянию от линзы до предмета:

$$\Gamma = \frac{|d_1|}{|d|}.$$

$$\Gamma = \frac{H}{h},$$

где Γ — линейное увеличение линзы;

H — размер изображения;

h — размер предмета.

Глаза человека представляют собой оптическую систему, дающую уменьшенное, обратное, действительное изображение на светочувствитель-



ной сетчатой оболочке глазного яблока. Основным элементом оптической системы — хрусталик — это двояковыпуклая линза. Кривизна поверхности хрусталика может меняться, поэтому всегда имеется возможность привести изображение предмета на поверхность сетчатки. Этот процесс называется аккомодацией глаза. Водянистая влага передней камеры, хрусталик и стекловидное тело представляют собой единую оптическую систему глаза.

3.6.10. Интерференция света

Интерференция света — это пространственное перераспределение энергии светового излучения при наложении двух или нескольких световых волн.



Когерентность — согласованное протекание в пространстве и во времени нескольких случайных колебательных или волновых процессов, позволяющее получить при их сложении четкую интерференционную картину.

Когерентными будут источники и созданные ими волны, если у них одинаковая частота и постоянная разность фаз колебаний.

Идеальными когерентными волнами являются две плоские линейно-поляризованные монохроматические волны одной частоты, электрические векторы которых параллельны.

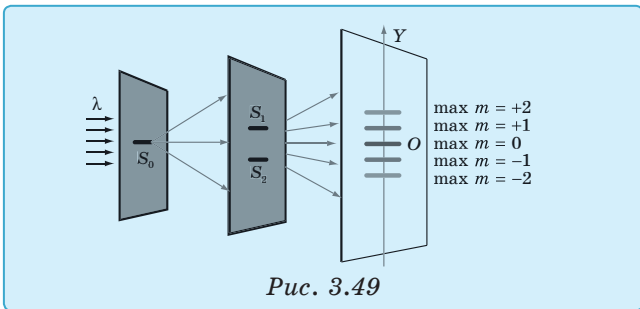
Если световой поток от естественного источника разделить на два, а затем свести

Монохроматическое излучение — электромагнитное излучение одной определенной и строго постоянной частоты.



вместе, то можно наблюдать устойчивую интерференционную картину.

Например, можно пропустить солнечный свет через экран с узкой щелью, а потом через экран с двумя щелями такой же ширины, находящимися на расстоянии порядка нескольких микрон (рис. 3.49).

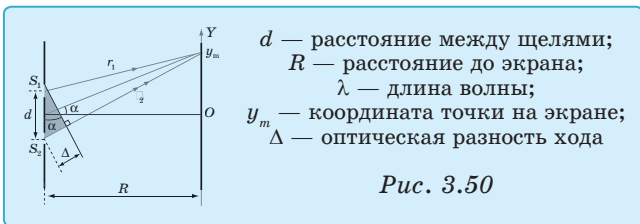


В результате световые волны, идущие от щелей, будут когерентными и создадут на экране устойчивую интерференционную картину.

Если $d \ll R$, то условия интерференционных максимумов и минимумов на экране:

$$\Delta_{\max} = \frac{dy_m}{R} = m\lambda, \quad \Delta_{\min} = (2m + 1) \cdot \frac{\lambda}{2},$$

где $m = 0, \pm 1, \pm 2$.



d — расстояние между щелями;

R — расстояние до экрана;

λ — длина волны;

y_m — координата точки на экране;

Δ — оптическая разность хода



В свою очередь оптическая разность хода равна геометрической разности пути, умноженной на показатель преломления:

$$\Delta = n(y_m S_1 - y_m S_2).$$

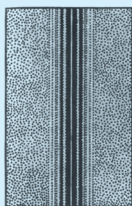
Совпадение нулевых максимумов для различных длин волн означает, что в центре экрана белая полоска.

3.6.11. Дифракция света

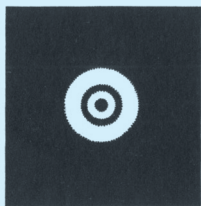
Дифракция света — огибание лучами света границы непрозрачных тел (экранов); проникновение света в область геометрической тени.



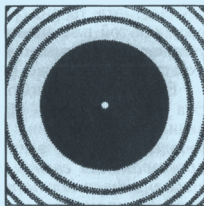
Препятствия, на которых наблюдается дифракция, должны быть очень малы — сравнимы с длиной волны света.



а



б



в

Рис. 3.51

Например, вместо тени от проволоки будут видны темные и светлые полосы (рис. 3.51, а). А в центре дифракционной картины от отверстия появляется темное пятно, окруженное светлыми кольцами (изменяя диаметр отверстия, можно в центре картины получить и светлое



пятно, окруженное темными и светлыми кольцами) (рис. 3.51, б). В центре тени, образованной круглым экраном, видно светлое пятнышко, а сама тень окружена темными концентрическими кольцами (рис. 3.51, в).

3.6.12. Дифракционная решетка

Дифракционная решетка — оптический элемент, представляющий собой совокупность большого числа регулярно расположенных штрихов (канавок, щелей, выступов), нанесенных тем или иным способом на плоскую или вогнутую оптическую поверхность.

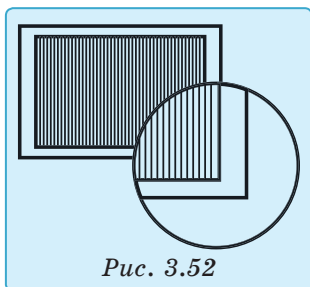


Рис. 3.52

Условие максимума:

$$d \sin \varphi = m\lambda,$$

где $m = 0, 1, 2, 3, \dots$

За решеткой помещают линзу, а в ее фокальной плоскости — экран. Белая полоса в центре экрана — это спектр нулевого порядка ($m = 0$), для которого макси-

мумы всех длин волн не зависят от угла падения лучей. Чем больше длина волны, тем дальше располагается максимум интенсивности от центрального пятна. Между максимумами расположены минимумы интенсивности.

3.6.13. Дисперсия света

Дисперсией света называется зависимость показателя преломле-





ния света в веществе от частоты колебаний или длины волны.

При разложении узкого пучка света стеклянной призмой получают семь цветов: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый. Наиболее сильно преломляются фиолетовые лучи, меньше всех — красные. Показатель преломления связан со скоростью света в веществе соотношением:

$$n = \frac{c}{v}$$

Длина волны связана со скоростью соотношением:

$$\lambda = \frac{v}{\nu}$$

Сложный состав белого света позволяет объяснить окраску предметов: она связана с преимущественным отражением света данной длины волны (данного цвета). Остальные цвета этим предметом поглощаются.

Цвет	Длина волны λ , нм	Частота $\nu \cdot 10^{-12}$ Гц
Красный	780—620	400—484
Оранжевый	620—590	484—508
Желтый	590—560	508—536
Зеленый	560—500	536—600
Голубой	500—480	600—625
Синий	480—450	625—667
Фиолетовый	450—400	667—780