

Оптика — раздел физики, в котором изучают свет и световые явления.

Корпускулярно-волновой дуализм. Для объяснения световых явлений ученые (во главе с И. Ньютоном) предположили, что свет — это поток частиц (корпускул). Другие ученые (Гук, Гюйгенс) использовали представление о том, что свет — это волна. Современная наука считает, что свет имеет двойственную природу. Впервые эту идею выдвинул Луи де Бройль. Свет, как поток частиц — корпускул (фотонов), проявляет себя при *поглощении и излучении* атомов. В других явлениях, таких, как *интерференция, дифракция, дисперсия, поляризация*, он ведет себя как волна.

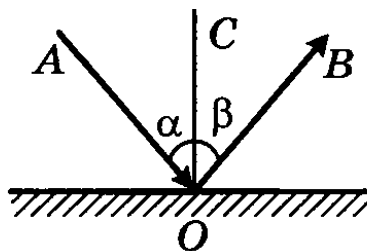
Законы геометрической оптики

Луч света — линия, вдоль которой распространяется световая энергия.

Закон прямолинейного распространения света выполняется в однородной прозрачной среде: *свет в однородной прозрачной среде распространяется прямолинейно.*

Закон прямолинейного распространения света объясняет образование тени и полутени, солнечное и лунное затмения.

Закон отражения выполняется, если на пути светового луча встретится плоское зеркало: *падающий луч АО, отраженный луч ОВ и перпендикуляр ОС, восстановленный в точке падения, лежат в одной плоскости. Угол падения α равен углу отражения β .*



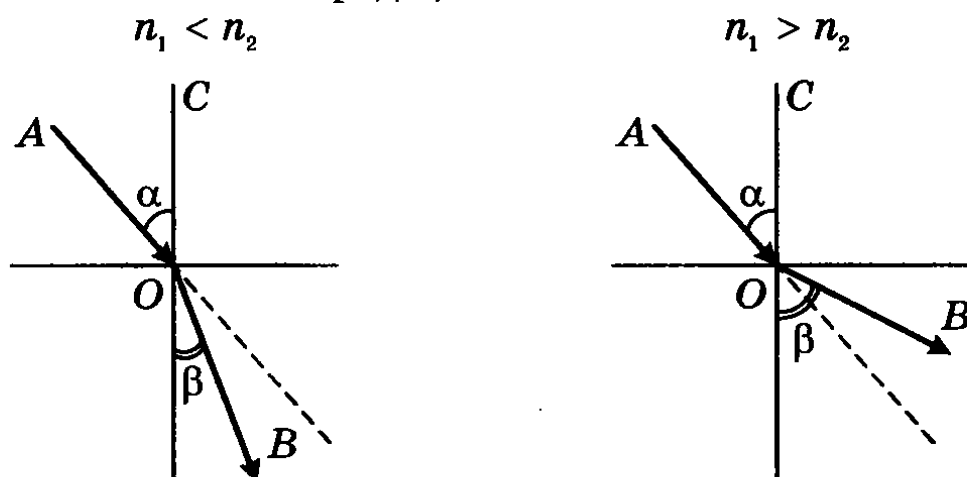
Закон отражения объясняет получение изображения в зеркале, устройство перископа.

Закон преломления выполняется, если на пути светового луча встречается граница двух прозрачных сред: *падающий луч АО, преломленный луч ОВ и перпендикуляр к границе двух сред ОС лежат в одной плоскости.*

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

где α — угол падения, β — угол преломления; n_1 — абсолютный показатель преломления, v_1 — скорость света и λ_1 — длина волны в первой среде; n_2 — абсолютный показатель преломления второй среды, n_{21} — относительный показатель преломления первой среды относительно второй.

Абсолютный показатель преломления — табличная величина. Его определили экспериментально, рассматривая преломление света при переходе из вакуума в данную среду. Чем больше абсолютный показатель среды, тем она считается более плотной.

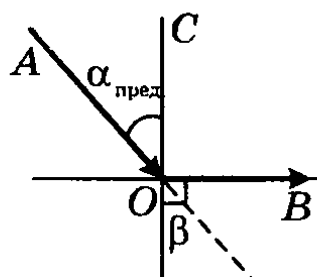


Если луч переходит из оптически менее плотной среды в оптически более плотную, то он отклоняется к перпендикуляру и $\alpha > \beta$.

Если луч переходит из оптически более плотной среды в оптически менее плотную, то он отклоняется от перпендикуляра и $\alpha < \beta$.

Закон преломления объясняет возникновение миражей, рефракцию в атмосфере, явление полного отражения.

Полное отражение бывает только при переходе света из оптически более плотной среды в оптически менее плотную, т.е. когда $n_1 > n_2$. В этом случае преломленный луч отклоняется от перпендикуляра и приближается к границе раздела двух сред.



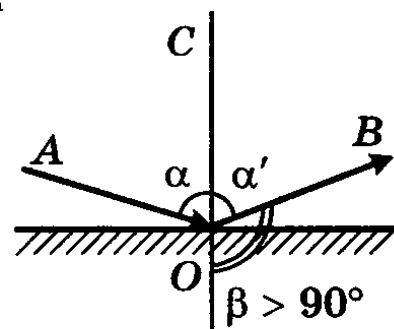
Наступает такой момент, когда угол преломления становится равным 90° . Угол падения, при котором угол преломления равен 90° , называют *предельным*:

$$\frac{\sin \alpha_{\text{пред}}}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \sin \alpha_{\text{пред}} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Дальнейшее увеличение падающего угла приводит к росту угла преломления. Свет в нижнюю среду (несмотря на то, что она прозрачная) не попадает. Происходит «отражение» от границы двух сред:

$$\alpha = \alpha',$$

$$\alpha' + \beta = 180^\circ.$$



Линзы

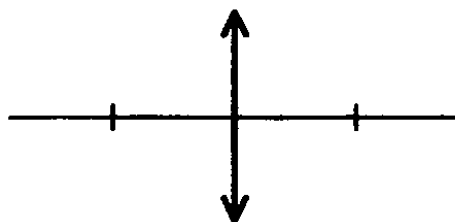
Линзы — прозрачные, обычно стеклянные, тела, ограниченные двумя сферическими поверхностями.

Виды линз:

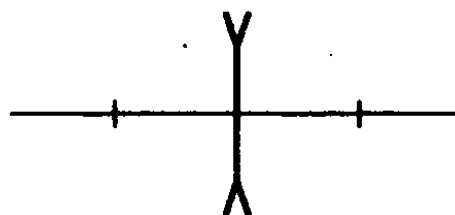
	Двояковыпуклые линзы: лупа, объектив фотоаппарата, хрусталик глаза. Собирают лучи, если находятся в оптически менее плотной среде.
	Двояковогнутые линзы рассеивают лучи, если находятся в оптически менее плотной среде.
	Выпукло-вогнутые линзы обладают и рассеивающими, и собирающими свойствами. (Пример: линзы в очках).

Условные обозначения тонких линз:

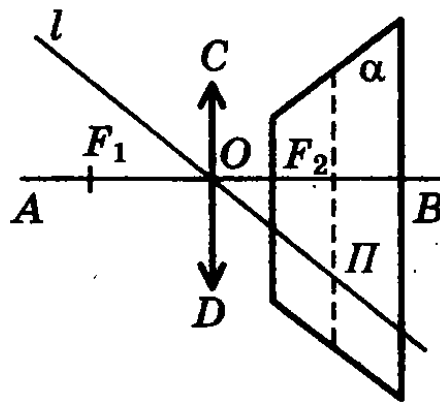
Собирающая линза



Рассеивающая линза



Собирающая линза:



AB — главная оптическая ось,

CD — положение линзы,

O — оптический центр линзы,

F_1, F_2 — фокусы линзы,

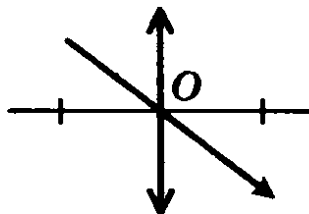
α — фокальная плоскость проходит через фокус, перпендикулярно AB ,

l — побочная оптическая ось проходит через оптический центр,

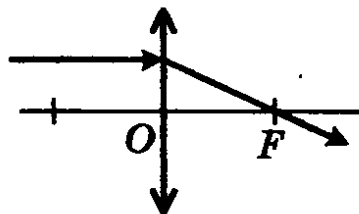
Π — побочный фокус линзы — точка пересечения побочной оптической оси и фокальной плоскости.

Ход лучей в собирающей линзе:

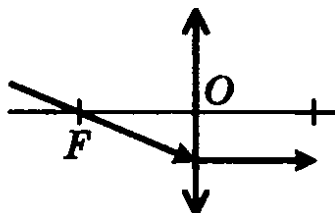
- 1) Лучи, проходящие через оптический центр линзы, не преломляются.



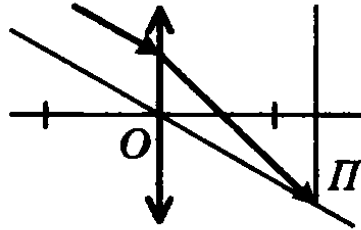
- 2) Лучи, параллельные главной оптической оси, после преломления в собирающей линзе проходят через фокус.



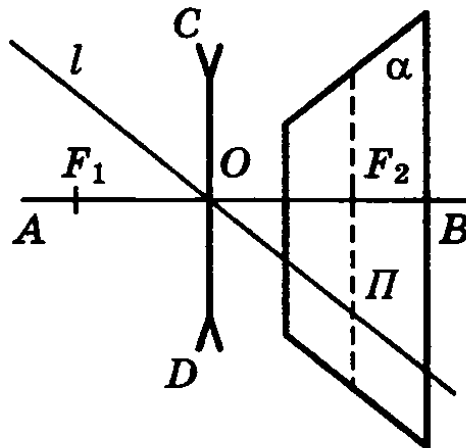
- 3) Лучи, проходящие через фокус, после преломления в собирающей линзе пойдут параллельно главной оптической оси.



- 4) Лучи, параллельные побочной оптической оси, пересекаются в побочном фокусе.



Рассеивающая линза:



AB — главная оптическая ось,

CD — положение линзы,

O — оптический центр линзы,

F_1, F_2 — фокусы линзы,

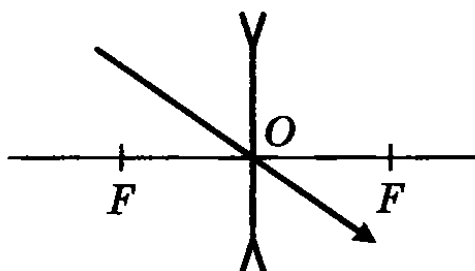
α — фокальная плоскость проходит через фокус, перпендикулярно AB ,

l — побочная оптическая ось проходит через оптический центр,

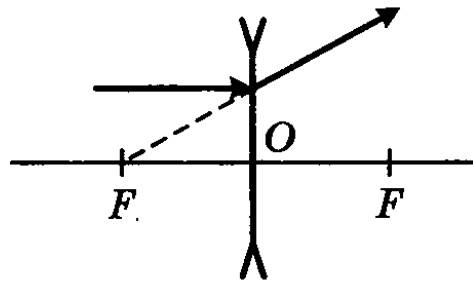
P — побочный фокус линзы — это точка пересечения побочной оптической оси и фокальной плоскости.

Ход лучей в рассеивающей линзе:

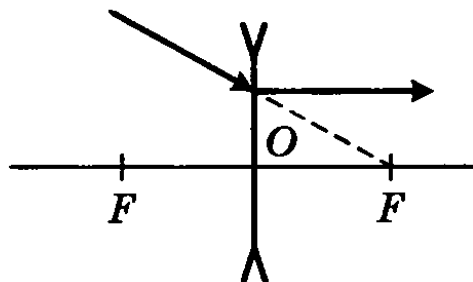
- 1) Лучи, проходящие через оптический центр линзы, не преломляются.



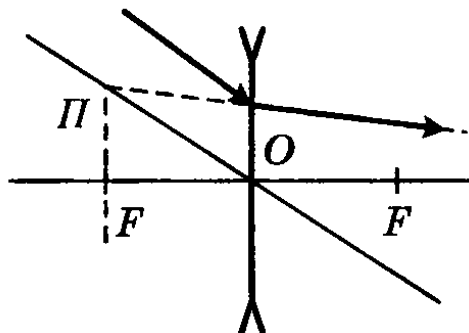
- 2) Лучи, параллельные главной оптической оси, после преломления в рассеивающей линзе выходят из фокуса.



- 3) Лучи, идущие в фокус, после преломления в рассеивающей линзе пойдут параллельно главной оптической оси.



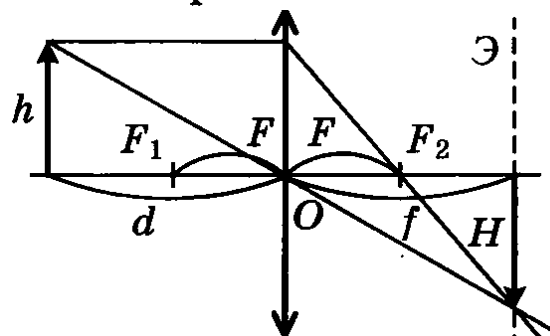
- 4) Лучи, параллельные побочной оптической оси, выходят из побочного фокуса.



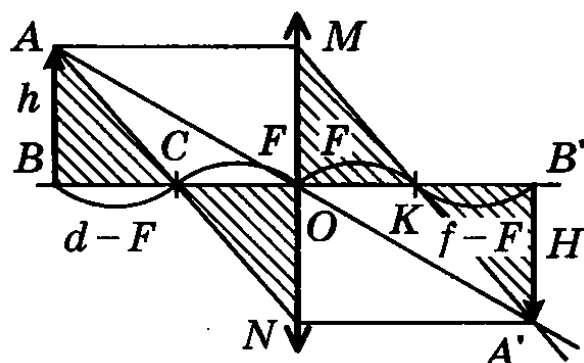
Формула тонкой линзы

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

где F_1 — передний фокус, F_2 — задний фокус, F — фокусное расстояние, d — расстояние от линзы до предмета, f — расстояние от линзы до изображения (до экрана), h — высота предмета, H — высота изображения.



Вывод формулы тонкой линзы из подобия треугольников:



$\triangle ABC$ подобен $\triangle CON$

$$\frac{h}{H} = \frac{d - F}{F},$$

$\triangle MOK$ подобен $\triangle KB'A'$

$$\frac{h}{H} = \frac{F}{f - F}$$

$$\frac{d - F}{F} = \frac{F}{f - F};$$

$$(d - F)(f - F) = F^2;$$

$$df - Ff - Fd + F^2 = F^2;$$

$$\frac{1}{F} - \frac{1}{d} - \frac{1}{f} = 0;$$

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

Знаки в формуле тонкой линзы:

$+F$ собирающая линза	$+d$ действительный источник	$+f$ действительное изображение
$-F$ рассеивающая линза	$-d$ мнимый источник	$-f$ мнимое изображение

Линейное увеличение линзы:

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}.$$

Только для действительного изображения:

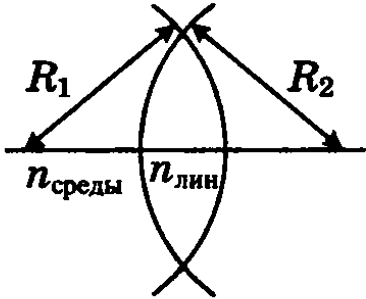
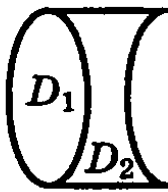

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d} = \frac{F}{d - F} = \frac{f - F}{F}.$$

Линейное увеличение через площади предмета и изображения:

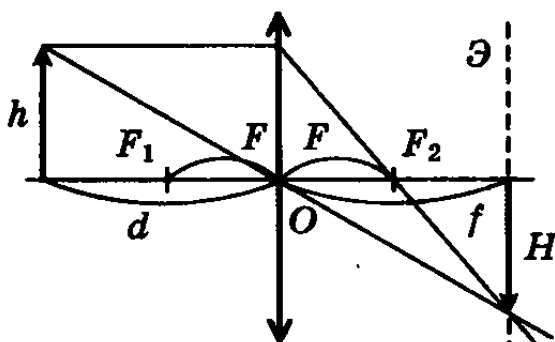
$$\Gamma = \sqrt{\frac{S_{\text{изображения}}}{S_{\text{предмета}}}}.$$

Линейное увеличение равно масштабу снимка.

Оптическая сила линзы — величина, обратная фокусному расстоянию.

Формула и единица измерения	$D = \pm \frac{1}{F} \text{ (дптр)}$	+D у собирающей линзы -D у рассеивающей линзы
Оптическая сила двояковыпуклой линзы	$D = \frac{1}{F} =$ $= \left(\frac{n_{\text{линзы}}}{n_{\text{среды}}} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$	
Оптическая сила составной линзы	$D = D_1 + D_2$	
Оптическая сила плоско — выпуклой линзы и зеркала	$D = 2D_1$	

Действительное изображение в собирающей линзе:



Условие, при котором наблюдается такое изображение: $d > F$.

Знак фокусного расстояния: $+F$.

Знак расстояния от линзы до предмета: $+d$.

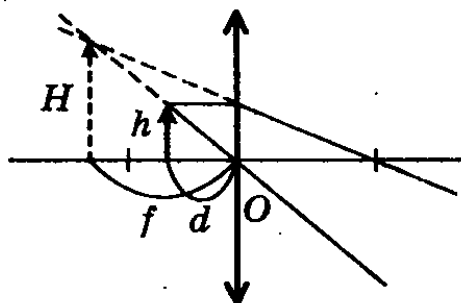
Знак расстояния от линзы до изображения: $+f$.

Формула тонкой линзы: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$.

Расстояние от предмета до изображения (экрана): $f + d$.

Увеличение линзы: $\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d} = \frac{F}{d - F} = \frac{f - F}{F}$.

Мнимое, увеличенное изображение в собирающей линзе:



Условие, при котором наблюдается такое изображение: $d < F$.

Знак фокусного расстояния: $+F$.

Знак расстояния от линзы до предмета: $+d$.

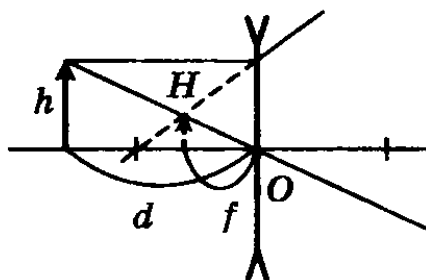
Знак расстояния от линзы до изображения: $-f$.

Формула тонкой линзы: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$.

Расстояние от предмета до изображения: $f - d$.

Увеличение линзы: $\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$.

Мнимое, уменьшенное изображение в рассеивающей линзе:



Условие, при котором наблюдается такое изображение: всегда.

Знак фокусного расстояния: $-F$.

Знак расстояния от линзы до предмета: $+d$.

Знак расстояния от линзы до изображения: $-f$.

Формула тонкой линзы: $-\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$.

Расстояние от предмета до изображения: $d - f$.

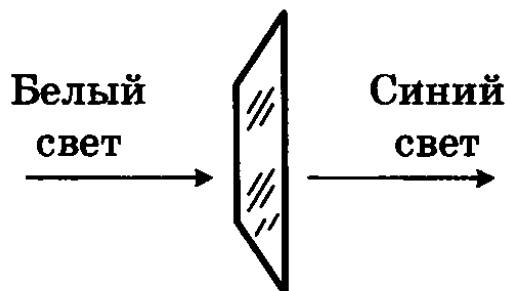
Увеличение линзы: $\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d} < 1$.

Волновые свойства света

Дисперсия — явление разложения белого света в спектр. Белый свет состоит из электромагнитных волн разной частоты. Попадая в призму, эти волны по разному преломляются (больше всего преломляются волны, соответствующие фиолетовому цвету, меньше — красному) и изменяют свою скорость (быстрее всего движутся «красные волны», медленнее «фиолетовые»). *Дисперсия* — зависимость абсолютного показателя преломления вещества от частоты $n = f(\nu)$. Пример дисперсии — *радуга*. Радуга — это разложение белого света на каплях дождя.

Свет и цвет.

Светофильтры — прозрачные тела, которые пропускают определенные длины волн, а остальные поглощают. Пример с синим светофильтром



После прохождения через светофильтр белый свет становится **монохроматическим**, т.е. содержит длину волны, соответствующую одному цвету.

Цвет тел определяется тем, какие длины волн тело отражает. Например, красные тела отражают длины волн, соответствующие красному цвету, а остальные поглощают. Предмет черного цвета всё поглощает, а белого отражает все длины волн.

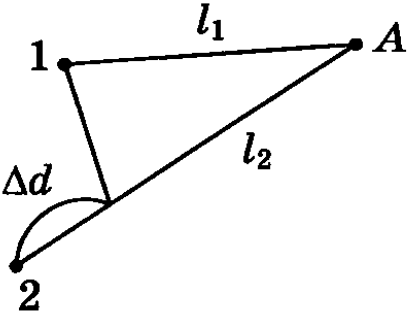
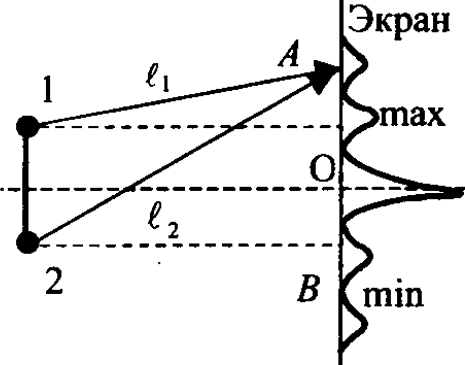
Цвет тел также зависит от цвета падающего света. Лучше всего это наблюдать, освещая белые предметы через разные светофильтры.

Поляризация.

Под поляризацией света понимают выделение из естественного света световых колебаний с определенным направлением вектора напряженности \vec{E} .

Явление поляризации доказывает волновую природу света и *поперечность* световых волн, т. е. $\vec{v} \perp \vec{B} \perp \vec{E}$.

Интерференция — сложение волн от когерентных источников.

Интерференция механических волн	Интерференция света
Примеры: исполнение музыки оркестром, интерференционная картина на воде	Примеры: радужная окраска мыльных пузырей и масляных пятен на воде
<i>Когерентные источники</i> — это согласованные между собой источники, которые колеблются с одинаковой частотой и разностью фаз	Из-за большой частоты согласовать волны, идущие от разных источников света, нельзя. Поэтому складывают волны, идущие от одного источника, но прошедшие разный путь
<p><i>Разность хода</i> — разность в расстояниях от источников колебаний до изучаемой точки Δd (м)</p> $\Delta d = l_2 - l_1 $	
 <p>В точке А происходит наложение двух волн (<i>интерференция</i>).</p> <p>Если гребень одной волны наложится на гребень другой, то произойдет усиление колебаний точки А (<i>область максимума колебаний</i>).</p> <p>Если гребень одной волны наложится на впадину другой, то колебаний точки А не будет (<i>область минимума</i>)</p>	 <p>На экране наблюдается интерференция света.</p> <p>В некоторых точках наложение световых волн приводит к усилению света (А). <i>Область максимума</i>: «свет + свет = яркий свет». В других точках (В) — к его ослаблению света.</p> <p><i>Область минимума</i>: «свет + свет = темнота»</p>

Условия максимума и минимума интерференции.

Условие максимума (волны приходят в фазе):

$$\Delta d = n\lambda .$$

Условие минимума (волны приходят в противофазе):

$$\Delta d = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}.$$

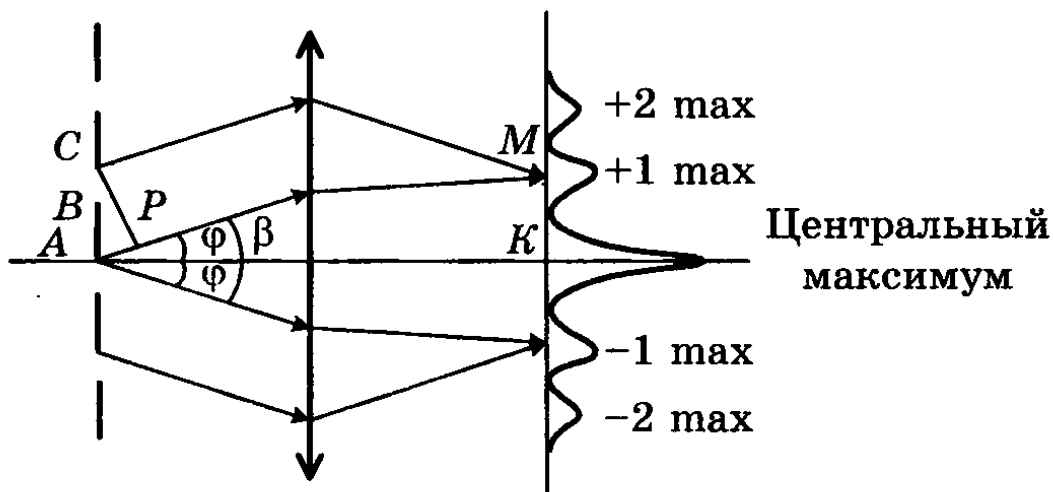
Дифракция.

Дифракция — огибание препятствий, сравнимых с длиной волны.

Примеры дифракции механических волн: слышим звук через открытую дверь.

Примеры дифракции света: радужная окраска крыльев стрекозы; образование светлых и темных полос после прохождения узкой щели.

Дифракционная решетка — прозрачная пластина, состоящая из большого числа параллельных щелей. Если на дифракционную решетку падает монохроматический свет, то на экране получают интерференционную картину — чередование светлых и темных полос.



AB — непрозрачная часть решетки;

BC — прозрачная часть,

$AC = AB + BC = d$ — период решетки, постоянная решетки,

AP — разность хода соседних параллельных лучей,

$AK = b$ — перпендикуляр к решетке (расстояние от решетки до экрана),

K — центральный (главный) максимум,

$KM = a$ — расстояние от центрального максимума до максимума n -ого порядка,

φ — угол отклонения луча от перпендикуляра,

N — число штрихов на длину l ,

$AP = d \sin \varphi$ — разность хода параллельных лучей.

Изменения дифракционной картины. Если на дифракционную решетку падает белый свет, то в центре будет белая полоса (выполняется условие максимума для всех волн). По обе стороны от нее располагаются чередующиеся радужные полосы.

Условие максимума для наибольшей длины волны в определенной спектральной полоске:

$$d \frac{a_1}{b} = n\lambda_{\max}.$$

Условие максимума для наименьшей длины волны в той же спектральной полоске:

$$d \frac{a_2}{b} = n\lambda_{\min}.$$

Ширина спектра: $a_1 - a_2$.

Если изменить длину волны падающего на дифракционную решетку света, то положение интерференционных полос будет смещаться.

Условие максимума для первой волны:

$$d \frac{a_1}{b} = n\lambda_1.$$

Условие максимума для новой волны:

$$d \frac{a_2}{b} = n\lambda_2.$$

Если изменить дифракционную решетку (число штрихов), то положение интерференционных полос также будет смещаться.

Условие максимума для первой решетки:

$$\frac{\ell}{N_1} \frac{a_1}{b} = n\lambda.$$

Условие максимума для новой решетки:

$$\frac{\ell}{N_2} \frac{a_2}{b} = n\lambda.$$

Если дифракционную решетку повернуть на 90° , то дифракционная картина также повернется на 90° .