

## Формулы для ЕГЭ по физике «Оптика»

Оптика является одним из самых древних разделов физики. Все оптические опыты ставились благодаря солнечному свету, который получил научное название – **световой луч**. Световой луч – линия, вектор касательной к которой перпендикулярен фронту световой волны и направлен в сторону переноса энергии световой волны в данной точке. Световой луч имеет то же направление, что и распространение света.

### **Оптические законы**

При изучении геометрической оптики принято рассматривать те волны, чья длина намного меньше размеров источника света, то есть стремится к нулю.

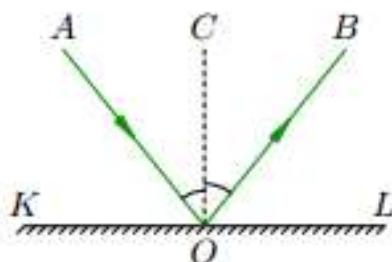
**Закон независимых световых лучей:** отдельные лучи, пересекающиеся в некоторой точке, не влияют на параметры движения других. То есть при рассмотрении каждого отдельного луча в пучке, изучают такое его движение, которое было бы при отсутствии других лучей.

**Закон прямолинейного движения световых пучков:** если свет распространяется в однородной среде, то траекторией его движения является прямая линия.

### **Закон отражения и закон преломления:**

Если луч под некоторым углом попадает на границу, которая разделяет две различные среды, то луч отражается в ту среду, из которой пришёл.

**Угол падения** – это угол между падающим лучом и перпендикуляром, то есть угол АОС на рисунке.



Здесь:

$KL$  – граница раздела двух различных по плотности сред,

$CO$  – перпендикуляр к границе раздела из точки, куда упал луч,

$AO$  – луч, который упал на границу,

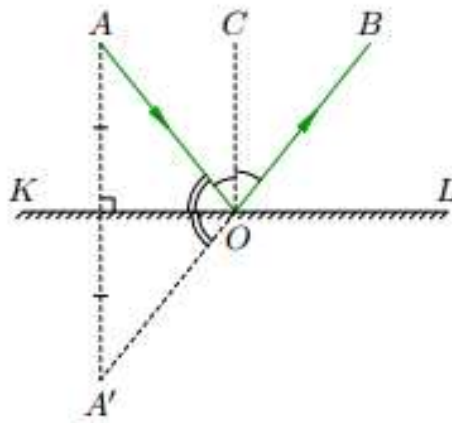
$OB$  – отражённый луч.

**Угол отражения** – угол между отражённым лучом и перпендикуляром, то есть угол  $COB$  на рисунке.

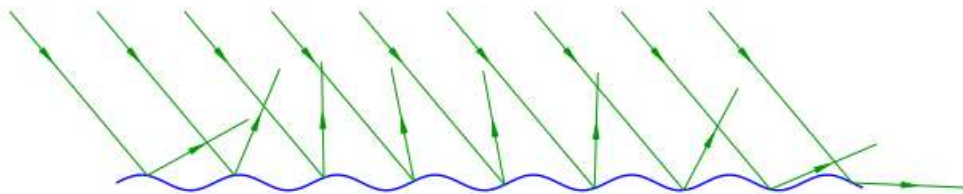
**Закон отражения света** состоит из двух утверждений:

1. Перпендикуляр к разделу сред, падающий и отражённый лучи – все лежат в одной плоскости.

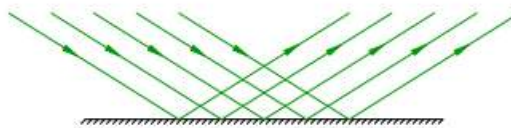
2. Угол падения луча равен углу отражения. То есть, судя из нашего рисунка, угол  $АОС =$  угол  $COB$ .



На рисунке можно наблюдать картину отражения лучей от волнообразной поверхности. О неровности поверхности можно говорить в том случае, когда её шероховатости больше, чем размеры длины волн света. Если размеры неровностей поверхности приблизительно равны размеру волн, то такую поверхность называют матовой и отражения от неё рассеянные. Это означает, что лучи отражаются во всех направлениях.

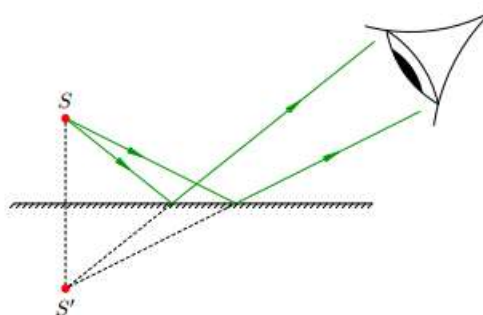


Поверхности, чьи шероховатости меньше длин волн, получили названия глянцевых. Для них справедливы законы отражения света. Все лучи, отраженные от такой поверхности, идут параллельно друг к другу.

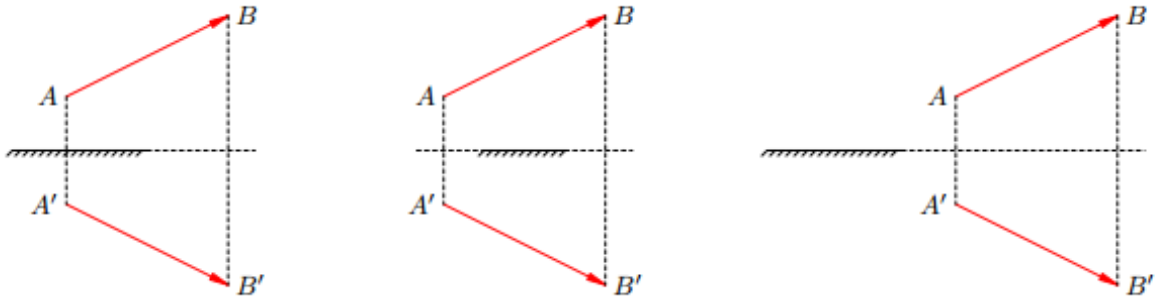


**Плоское зеркало** – это глянцевая поверхность. Если на такую поверхность падают параллельные пучки света, то и отражаются они параллельно друг другу.

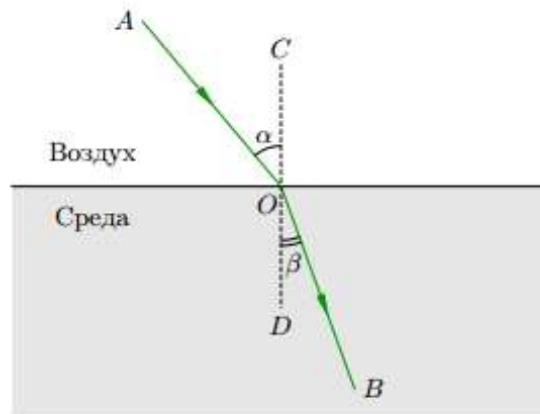
Наш мозг устроен таким образом, что любое отражение он воспринимает в качестве изображения, которое находится за пределами границы раздела сред. Самым важным в данном объяснении является то, что это нам действительно кажется из-за собственного восприятия. Изображение, которое мы видим в зеркале, называется мнимым, то есть не существует на самом деле.



Чтобы построить изображение, следует все его точки отобразить симметрично относительно границы раздела сред. Место расположения и размер предмета не влияют на полученное изображение в зеркале.



В тот момент, когда луч падает на некоторую другую среду, он не только отражается, то и проходит сквозь неё. Однако, из-за разности плотностей, он меняет свой путь. То есть луч, попадая на границу, изменяет свою траекторию распространения и движется со смещением на некоторый угол. Преломление будет происходить в том случае, когда луч падает под некоторым углом к перпендикуляру. Если же он совпадает с перпендикуляром, то преломления не происходит и луч проникает в среду под таким же углом. Самой распространенной ситуацией при переходе света из одной среды в другую является переход из воздуха.



На рисунке:

$AO$  – луч, падающий на границу раздела сред,

$CO$  и  $OD$  – перпендикуляры (нормали) к разделу сред, опущенные из точки падения луча,

$OB$  – луч, который преломился и перешёл в другую среду.

Угол, находящийся между нормалью и падающим лучом, называется **углом падения** ( $AOC$ ). Угол, который находится между преломлённым лучом и нормалью, называется **углом преломления** ( $BOD$ ).

Чтобы выяснить интенсивность преломления той или иной среды, вводят физическую величину, которая носит название **показатель преломления**. Данная величина является табличной и для основных веществ её значение является постоянной величиной, которую можно найти в таблице.

### **Законы преломления для перехода воздух-среда**

1. При рассмотрении падающего и преломлённого луча, а также нормали к разделам сред, все перечисленные величины находятся в одной плоскости.

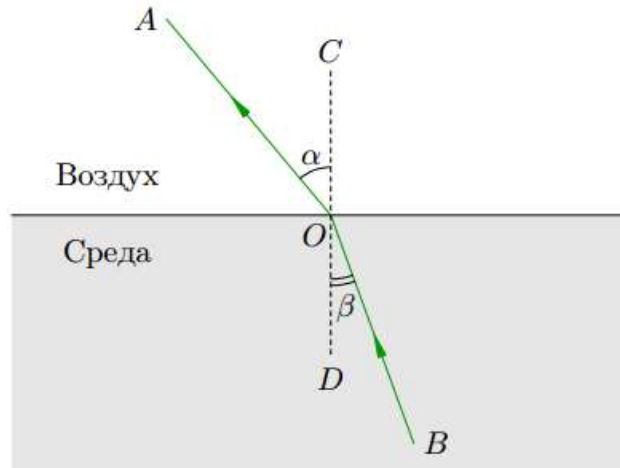
2. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления является постоянной величиной, равной показателю преломления среды:  $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n$ .

Значение показателя преломления больше единицы, это значит, что синус угла падения всегда больше синуса угла преломления. То есть, если луч выходит из воздуха в более плотную среду, то угол преломления уменьшается.

**Показатель преломления** также показывает, как изменяется скорость распространения света в той или иной среде, относительно распространения в вакууме:  $n = \frac{c}{v}$ . Отсюда можно получить следующее соотношение:  $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{c}{v}$

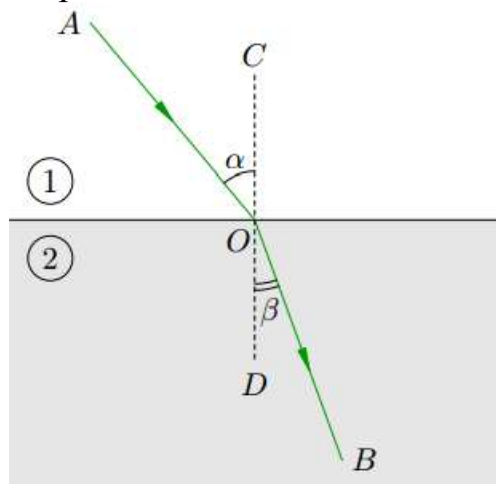
### Обратимость лучей

Данные законы применимы и в тех случаях, когда направление лучей происходит из среды в воздух. То есть на траекторию распространения света не влияет направление, в котором происходит перемещение лучей.



### Закон преломления для произвольных сред

Если, например, луч переходит из воды в стекло, или любую другую среду, то используется общий вид закона преломления света.

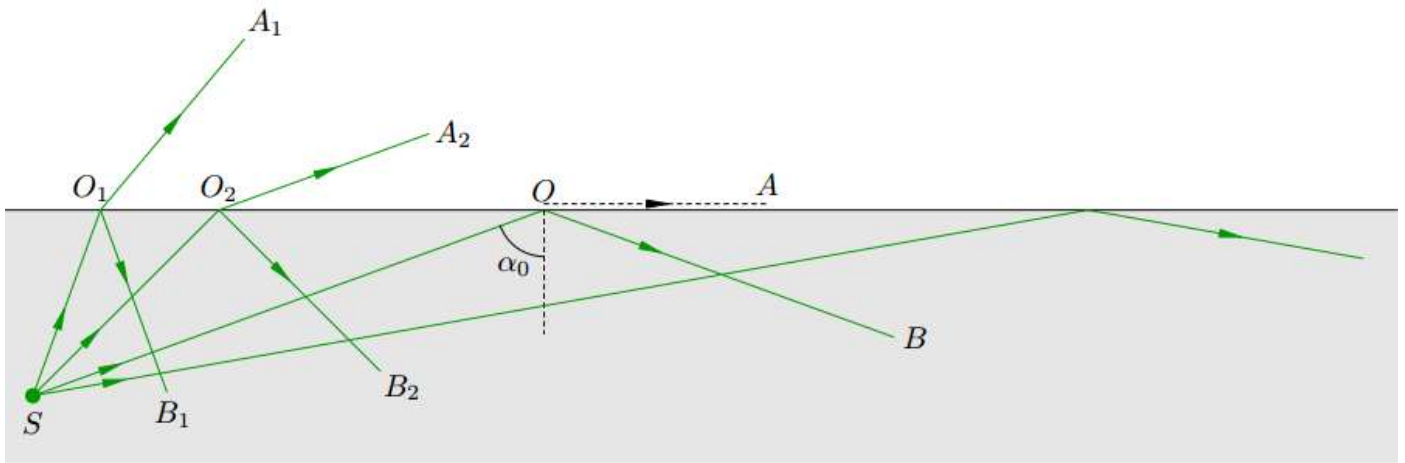


Если некоторая среда имеет больший показатель преломления, то она получила название более плотной среды. Если луч переходит из более плотной среды в менее плотную, то угол преломления больше угла падения. То есть преломлённый луч прижимается к границе раздела двух сред. Если же луч переходит из менее плотной среды в более плотную, то угол преломления будет меньше угла падения.

То есть для данного случая мы получим общую формулу для закона преломления:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} \qquad \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{v_1}{v_2}$$

Если лучи переходят из более плотной среды в менее плотную, то под некоторым определённым углом происходит **полное внутреннее отражение**. В таком случае луч не может перейти из более плотной среды в менее плотную, и остается блуждать в ней, пока угол падения не позволит ему перейти.



Чтобы определить **предельный угол**, при котором происходит полное отражение, следует воспользоваться формулой:

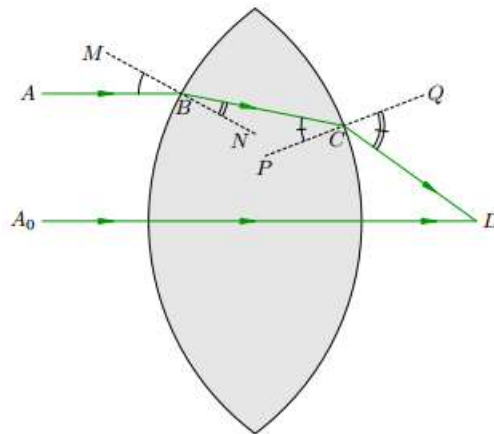
$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n} \quad \alpha_0 = \arcsin \frac{1}{n}$$

Например, для воды предельный угол примерно равен 48 градусам.

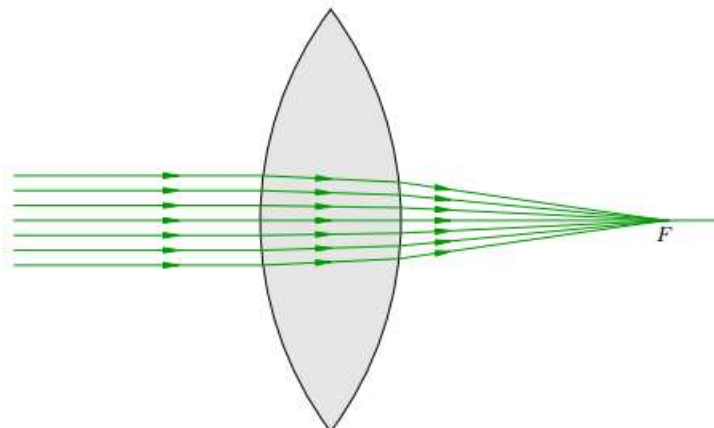
**Линза** – это прозрачное тело, которое ограничено с двух сторон сферами.

Существует несколько основных видов линз, выполняющих определенные функции.

1. **Двояковыпуклые линзы** выполнены из двух выпуклых полусфер, поэтому они называются двояковыпуклыми.

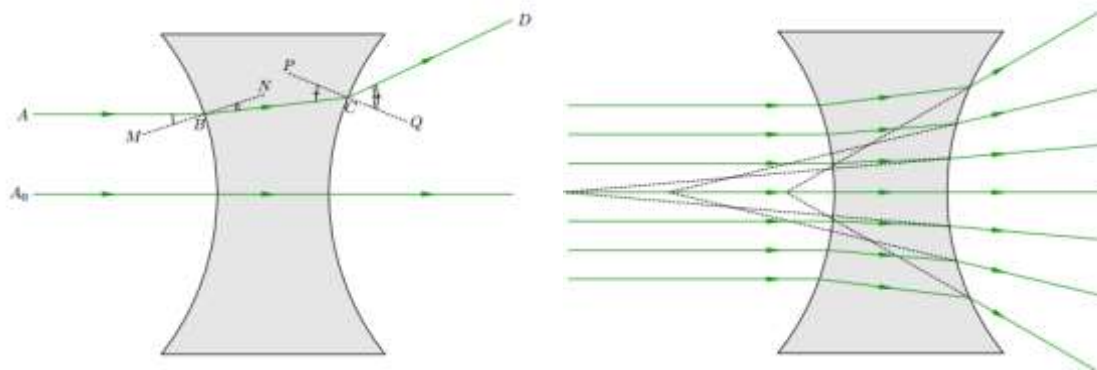


Явление, при котором лучи собираются в одной точке, называется **фокусировкой**, а точка фокусировки – это **фокус**. Фокус (фокусное расстояние) обозначается на рисунке буквой **F**. Линза имеет два главных фокуса – передний и задний. Расположены они на оптической оси по обе стороны линзы на фокусном расстоянии от главных точек линзы.



Линза, в которой лучи собираются в одной точке за ней, называется собирающей. То есть **двояковыпуклая линза является собирающей**.

2. **Двояковогнутая линза** выполнена из двух вогнутых полусфер.



Как видно из рисунка, лучи, попавшие на такую линзу, преломляются, и на выходе не пересекают ось, а наоборот, стремятся от неё. Отсюда можно сделать вывод, что такая линза рассеивает, и поэтому называется **рассеивающей**. Если лучи, которые рассеялись, продолжить перед линзой, то они соберутся в одной точке, которая называется **мнимым фокусом**.

Есть и другие виды собирающих и рассеивающих линз:



Рис. 7. Собирающие линзы



Рис. 8. Рассеивающие линзы

В зависимости от толщины линзы, она может либо сильнее, либо слабее преломлять лучи. Чтобы определить, насколько сильно преломляет линза, ввели величину, которая называется **оптической силой**. Единица измерения – **диоптрий [дптр]**.

$$D = \frac{1}{F}, \text{ где:}$$

$D$  – оптическая сила линзы или системы линз,

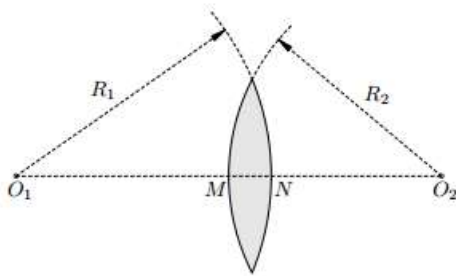
$F$  – фокусное расстояние линзы или системы линз.

Оптическая сила напрямую зависит от фокусного расстояния. Считается, что при нормальном зрении человека, фокусное расстояние приблизительно равно 22 см.

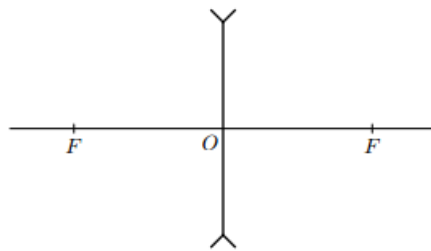
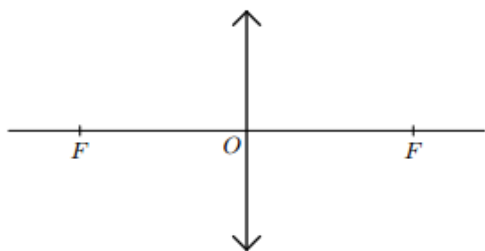
### **Тонкая линза**

При изучении линз мы будем пользоваться понятием тонкой линзы. Тонкой линзой называется та, у которой толщина достаточно мала (меньше, чем радиусы двух сферических поверхностей).



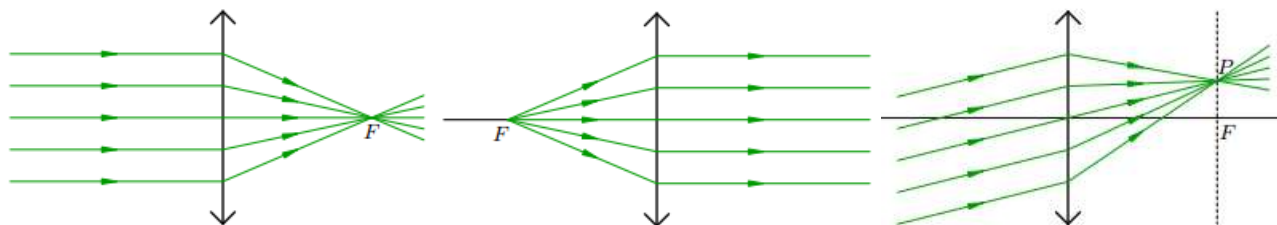


Для рассмотрения и изучения тонких линз были введены условные обозначения:  
**Собирающая линза:** **Рассеивающая линза:**

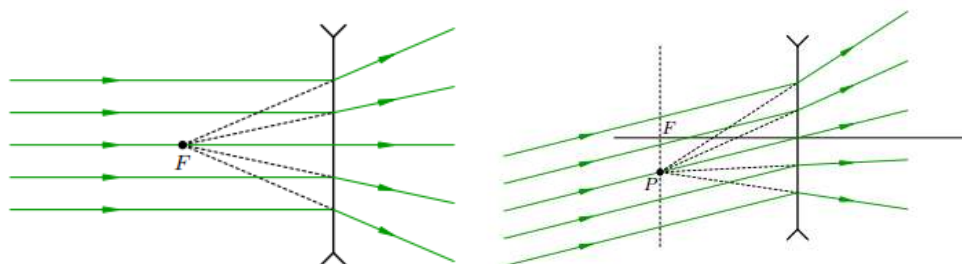


Здесь  $FF$  – главная оптическая ось, а  $O$  – оптический центр,  $OF$  – оптическое расстояние.

Если параллельные лучи будут падать на собирающую линзу, то они встретятся в фокусе, если же они будут выходить из мнимого фокуса и попадать на линзу, то после неё они пройдут параллельно друг другу. Если параллельные лучи пойдут под некоторым углом к основной оси, то они также соберутся в одной точке, однако она будет называться побочным фокусом, который находится в так называемой фокальной плоскости.



В рассеивающей линзе пучок собирается в мнимом фокусе и расходится за пределами линзы. Если же лучи будут падать под некоторым углом к линзе, то они в любом случае будут расходиться, однако перед линзой соберутся в мнимом побочном фокусе.



**Формула тонкой линзы:**

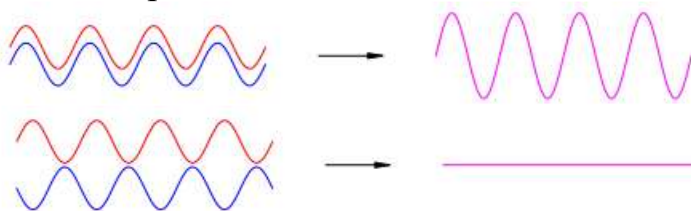
$$\frac{1}{d} \pm \frac{1}{f} = \pm \frac{1}{F} \quad \frac{1}{d} \pm \frac{1}{f} = D$$

(для собирающей линзы используется знак "+", а для рассеивающей "-").

**Увеличивающая возможность линзы:**  $\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{H}{h}$ . (если линза увеличивает, то значение  $\Gamma > 1$ , если уменьшает, то  $0 < \Gamma < 1$ ).

## Интерференция света

Рассмотрим две волны (световые, электромагнитные или механические). Все превращения, которые происходят в результате наложения волн, наблюдаются в результате сложения их характеристик (амплитуды, фазы и др.). Если накладываются две волны с одинаковыми фазами, то они соединяются в одну, с большей амплитудой. Если же волны приходят в противофазе, то происходит постоянное гашение максимума-минимума, в результате чего волна выравнивается.



**Условие интерференционного максимума:** разность хода волн равна целому числу волн:  $d = n\lambda$  ( $n=0,1,2,\dots$ )

**Условие интерференционного минимума:** разность хода равна некоторому количеству полуволн:  $d = n\lambda + \frac{\lambda}{2}$  ( $n=0,1,2,\dots$ )

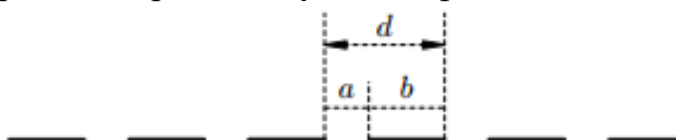
В результате наложения волн в некоторых местах наблюдается максимум, а в некоторых минимум, появляется **интерференционная картина**.

## Дифракция света

**Дифракция** – это процесс, при котором волна меняет свою траекторию движения в результате появившегося на пути препятствия.

**Дифракционная решетка** – это приспособление, имеющее большое количество преград, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга.

Дифракционная решетка характеризуется шириной щелей, промежутков между ними, а также периодом решетки, равным сумме ширины щелей и промежутков:



**Условие максимумов для дифракционной решетки:**

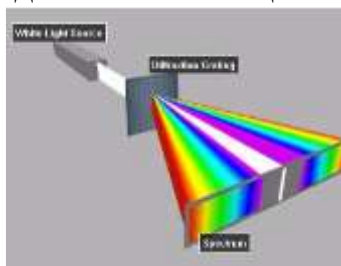
$$d \cdot \sin\varphi = k\lambda \quad (k = 0, 1, 2, \dots).$$

**Условие минимумов для дифракционной решетки:**

$$d \cdot \sin\varphi = \pm(2m + 1) \frac{\lambda}{2}.$$

Здесь  $\varphi$  - угол падения света.

При дифракции белый свет разделится на все цвета радуги.



Если частица имеет энергию  $E$  и импульс  $p$ , то с этой частицей связана волна частотой  $\nu = E/h\nu$  и длиной  $\lambda = h/p$ . Это **формула де Бройля**.