

В курсе физики 8 класса вы познакомились с явлением преломления света. Теперь вы знаете, что свет представляет собой электромагнит-

ные волны определённого диапазона частот. Опираясь на знания о природе света, вы сможете понять физическую причину преломления и объяснить многие другие связанные с ним световые явления.

Согласно **закону преломления света** (рис. 141):

лучи падающий, преломлённый и перпендикуляр, проведённый к границе раздела двух сред в точке падения луча, лежат в одной плоскости; отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных двух сред.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21}, \quad (1)$$

где  $n_{21}$  — *относительный показатель преломления* второй среды относительно первой.

Если луч переходит в какую-либо среду из *вакуума*, то

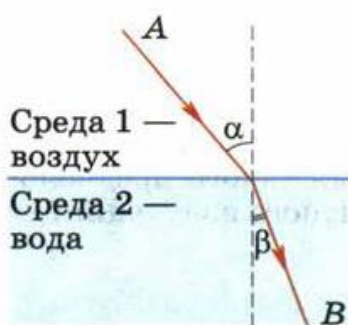
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n, \quad (2)$$

где  $n$  — *абсолютный показатель преломления* (или просто *показатель преломления*) второй среды. В этом случае первой «средой» является *вакуум*, абсолютный показатель которого принят за единицу.

Закон преломления света был открыт опытным путём голландским учёным **Виллебордом Снеллиусом** в 1621 г. Закон был сформулирован в трактате по оптике, который нашли в бумагах учёного после его смерти.

После открытия Снеллиуса несколькими учёными была выдвинута гипотеза о том, что *преломление света обусловлено изменением его скорости при переходе через границу двух сред*. Справедливость этой гипотезы была подтверждена теоретическими доказательствами, выполненными независимо друг от друга французским математиком **Пьером Ферма** (в 1662 г.) и голландским физиком **Христианом Гюйгенсом** (в 1690 г.). Разными путями

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21}$$



**Рис. 141.** Переходя из одной среды в другую, луч преломляется, т. е. меняет направление распространения

они пришли к одному и тому же результату, доказав, что

отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных двух сред, равная отношению скоростей света в этих средах:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (3)$$

Из уравнения (3) следует, что если угол преломления  $\beta$  меньше угла падения  $\alpha$ , то свет данной частоты во второй среде распространяется медленнее, чем в первой, т. е.  $v_2 < v_1$ . Это означает, что вторая среда является оптически более плотной, чем первая.

Взаимосвязь величин, входящих в уравнение (3), послужила веским основанием для появления ещё одной формулировки определения относительного показателя преломления:

относительным показателем преломления второй среды относительно первой называется физическая величина, равная отношению скоростей света в этих средах:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (4)$$

Пусть луч света переходит из вакуума в какую-либо среду. Заменяя в уравнении (4)  $v_1$  на скорость света в вакууме  $c$ , а  $v_2$  на скорость света в среде  $v$ , получим уравнение (5), являющееся определением абсолютного показателя преломления:

абсолютным показателем преломления среды называется физическая величина, равная отношению скорости света в вакууме к скорости света в данной среде:

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

$$n = \frac{c}{v}. \quad (5)$$

Согласно уравнениям (4) и (5),  $n_{21}$  показывает, во сколько раз меняется скорость света при его переходе из одной среды в другую, а  $n$  — при переходе из вакуума в среду. В этом заключается *физический смысл показателей преломления*.

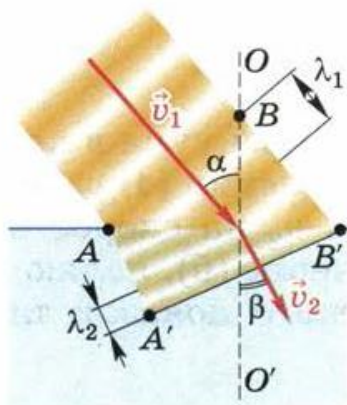
Значение абсолютного показателя преломления  $n$  любого вещества больше единицы (в этом убеждают данные, содержащиеся в таблицах физических справочников). Тогда, согласно уравнению (5),  $c/v > 1$  и  $c > v$ , т. е. *скорость света в любом веществе меньше скорости света в вакууме*.

Не приводя строгих обоснований (они сложны и громоздки), отметим, что причиной уменьшения скорости света при его переходе из вакуума в вещество является взаимодействие световой волны с атомами и молекулами вещества. *Чем больше оптическая плотность вещества, тем сильнее это взаимодействие, тем меньше скорость света и тем больше показатель преломления*. Таким образом, *скорость света в среде и абсолютный показатель преломления определяются свойствами этой среды*.

По числовым значениям показателей преломления веществ можно сравнивать их оптические плотности. Например, показатели преломления различных сортов стекла лежат в пределах от 1,470 до 2,040, а показатель преломления воды равен 1,333. Значит, стекло — среда оптически более плотная, чем вода.

Обратимся к рисунку 142, с помощью которого можно пояснить, почему на границе двух сред с изменением скорости меняется и направление распространения световой волны.

На рисунке изображена световая волна, переходящая из воздуха в воду и падающая на границу раздела этих сред под углом  $\alpha$ . В воз-



**Рис. 142.** При переходе световых волн из воздуха в воду скорость света уменьшается, фронт волны, а вместе с ним и её скорость меняют направление

духе свет распространяется со скоростью  $v_1$ , а в воде — с меньшей скоростью  $v_2$ .

Первой до границы доходит точка  $A$  волны. За промежуток времени  $\Delta t$  точка  $B$ , перемещаясь в воздухе с прежней скоростью  $v_1$ , достигнет точки  $B'$ . За то же время точка  $A$ , перемещаясь в воде с меньшей скоростью  $v_2$ , пройдёт меньшее расстояние, достигнув только точки  $A'$ . При этом так называемый фронт волны  $A'B'$  в воде окажется повернутым на некоторый угол по отношению к фронту  $AB$  волны в воздухе. А вектор скорости (который всегда перпендикулярен к фронту волны и совпадает с направлением её распространения) поворачивается, приближаясь к прямой  $OO'$ , перпендикулярной к границе раздела сред. При этом угол преломления  $\beta$  оказывается меньше угла падения  $\alpha$ . Так происходит преломление света.

Из рисунка видно также, что при переходе в другую среду и повороте волнового фронта меняется и длина волны: при переходе в оптически более плотную среду уменьшается скорость, длина волны тоже уменьшается ( $\lambda_2 < \lambda_1$ ). Это согласуется и с известной вам формулой  $\lambda = v/\nu$ , из которой следует, что при неизменной частоте  $\nu$  (которая не зависит от плотности среды и поэтому не меняется при переходе луча из одной среды в другую) уменьшение скорости распространения волны сопровождается пропорциональным уменьшением длины волны. ✱

#### ? Вопросы

1. Какое из двух веществ является оптически более плотным?
2. Как определяются показатели преломления через скорость света в средах?
3. Где свет распространяется с наибольшей скоростью?
4. Какова физическая причина уменьшения скорости света при его переходе из вакуума в среду или из среды с меньшей оптической плотностью в среду с большей?
5. Чем определяются (т. е. от чего зависят) абсолютный показатель преломления среды и скорость света в ней?
- 6\*. Расскажите, что иллюстрирует рисунок 142.



## УПРАЖНЕНИЕ 44

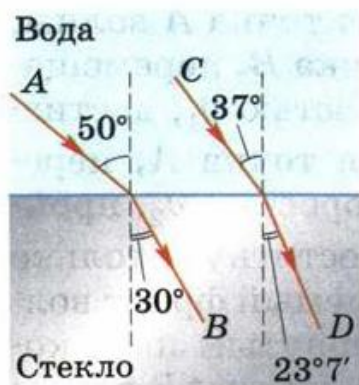


Рис. 143



Рис. 144

1. Какие из трёх величин — длина волны, частота и скорость распространения волны — изменятся при переходе волны из вакуума в алмаз?
2. Используя рисунок 143, докажите, что относительный показатель преломления  $n_{21}$  для данных двух сред не зависит от угла падения луча света.
3. Какая из двух сред (рис. 144) обладает большей оптической плотностью? В какой из них луч света распространяется с большей скоростью? Ответ обоснуйте.
- 4\*. Используя уравнения (4) и (5), докажите, что  $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$ , где  $n_1$  — абсолютный показатель преломления первой среды, а  $n_2$  — второй.

*Указание:* выразите из уравнения (5) скорость  $v$  света в среде через  $c$  и  $n$ ; по аналогии с полученной формулой запишите формулы для определения скоростей  $v_1$  и  $v_2$ , входящих в уравнение (4); замените в уравнении (4)  $v_1$  и  $v_2$  на соответствующие им буквенные выражения и упростите полученную формулу.