

Закон преломления света (окончание)

Показатель преломления. Из принципа Гюйгенса не только следует закон преломления, но с помощью этого принципа раскрывается физический смысл показателя преломления. Он равен отношению скоростей света в средах, на границе между которыми происходит преломление:

$$n = \frac{v_1}{v_2}. \quad (8.5)$$

Если угол преломления β меньше угла падения α , то согласно уравнению (8.4) скорость света во второй среде меньше, чем в первой.

Показатель преломления среды относительно вакуума называют **абсолютным показателем преломления этой среды**. Он показывает, во сколько раз скорость света в вакууме больше, чем в среде, и равен отношению синуса угла падения к синусу угла преломления при переходе светового луча из вакуума в данную среду: $n = \frac{c}{v}$.

Пользуясь формулой (8.5), можно выразить относительный показатель преломления через абсолютные показатели преломления n_1 и n_2 первой и второй сред.

Действительно, так как $n_1 = \frac{c}{v_1}$ и $n_2 = \frac{c}{v_2}$, где c — скорость света в вакууме, то

$$n = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (8.6)$$

Среду с меньшим абсолютным показателем преломления принято называть оптически менее плотной средой.

Абсолютный показатель преломления определяется скоростью распространения света в данной среде, которая зависит от физических свойств и состояния среды, т. е. от температуры вещества, его плотности, наличия в нем упругих напряжений. Показатель преломления зависит также и от длины волны λ света. Для красного света он меньше, чем для зеленого, а для зеленого меньше, чем для фиолетового. Поэтому в таблицах значений показателей преломления для разных веществ обычно указывается, для какого света приведено данное значение n и в каком состоянии находится среда. Если таких указаний нет, то это означает, что зависимостью от приведенных факторов можно пренебречь.

В большинстве случаев приходится рассматривать переход света через границу воздух — твердое тело или воздух — жидкость, а не через границу вакуум — среда. Однако абсолютный показатель преломления n_2 твердого или жидкого вещества отличается от показателя преломления того же вещества относительно воздуха незначительно. Так, абсолютный показатель преломления воздуха при нормальных условиях для желтого света равен примерно $n_1 \approx 1,000292$. Следовательно,

$$n = \frac{n_2}{n_1} \approx n_2. \quad (8.7)$$

Значения показателей преломления для некоторых веществ относительно воздуха приведены ниже в таблице (данные относятся к желтому свету).

Вещество	Показатель преломления относительно воздуха
Вода (при 20 °С)	1,33
Кедровое масло (при 20 °С)	1,52
Сероуглерод (при 20 °С)	1,63
Лед	1,31
Каменная соль	1,54
Кварц	1,54
Рубин	1,76
Алмаз	2,42
Различные сорта стекла	от 1,47 до 2,04

Ход лучей в треугольной призме

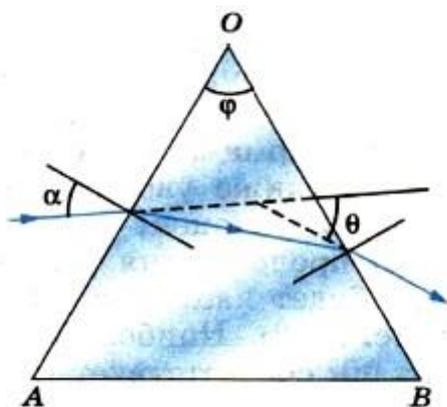


Рис. 8.9

С помощью закона преломления света можно рассчитать ход лучей в различных оптических устройствах, например в треугольной призме, изготовленной из стекла или другого прозрачного материала.

На рисунке 8.9 изображено сечение стеклянной призмы плоскостью, перпендикулярной ее боковым ребрам. Луч в призме отклоняется к основанию, преломляясь на гранях OA и OB. Угол φ между этими гранями называют преломляющим углом призмы. Угол θ отклонения луча зависит от преломляющего угла φ призмы, показателя преломления n материала призмы и угла падения α . Он может быть вычислен с помощью закона преломления (см. формулу (8.4)). При малых углах α и φ $\theta \approx (n - 1)\varphi$, где n — относительный показатель преломления.

На основе принципа Гюйгенса выведен закон преломления света.

ЗАДАНИЕ

1. Кратко написать конспект в рабочую тетрадь.

2. Вопросы (уметь отвечать устно)

1. Каков физический смысл показателя преломления?

2. Чем отличается относительный показатель преломления от абсолютного?

Полное отражение

При прохождении света из оптически менее плотной среды в более плотную, например из воздуха в стекло или воду, $v_1 > v_2$ и, следовательно, согласно закону преломления (см. формулу (8.4)) показатель преломления $n > 1$. Поэтому $\alpha > \beta$ (рис. 8.10): в результате преломления луч приближается к нормали к границе раздела сред.

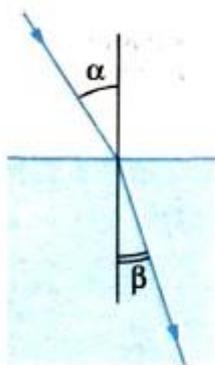


Рис. 8.10

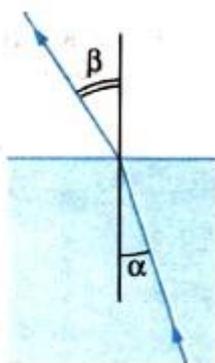


Рис. 8.11

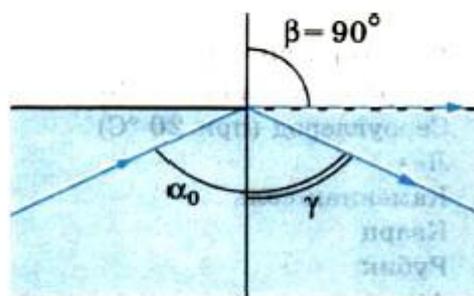


Рис. 8.12

Если же направить луч света в обратном направлении — из оптически более плотной среды в оптически менее плотную вдоль ранее преломленного луча (рис. 8.11), то закон преломления можно записать так:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{n}. \quad (8.8)$$

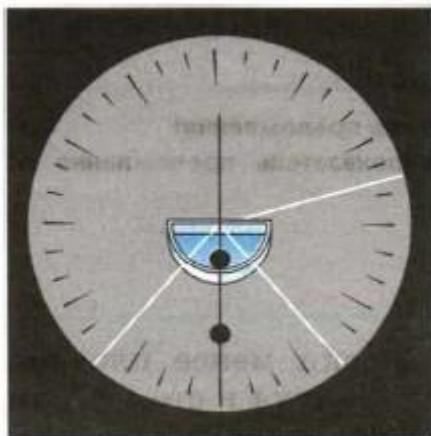


Рис. 8.13

Преломленный луч по выходе из оптически более плотной среды будет направлен по линии ранее падавшего луча, поэтому $\alpha < \beta$, т. е. преломленный луч отклоняется на сей раз от нормали. По мере увеличения угла α угол преломления β также увеличивается, оставаясь все время больше угла α . Наконец, при некотором угле падения α_0 значение угла преломления β приблизится к 90° , и преломленный луч будет направлен почти по границе раздела двух сред (рис. 8.12). Наибольшему возможному углу преломления $\beta = 90^\circ$ соответствует угол падения

α_0 .

При $\alpha > \alpha_0$ преломление света невозможно. Значит, луч должен полностью отразиться. Это явление и называется **полным отражением света**.

Для наблюдения полного отражения света можно использовать стеклянный полуцилиндр с матовой задней поверхностью. Полуцилиндр закрепляют на

диске так, чтобы середина плоской поверхности полуцилиндра совпадала с центром диска (рис. 8.13). Узкий пучок света от осветителя направляют снизу на боковую поверхность полуцилиндра перпендикулярно его поверхности. На этой поверхности луч не преломляется. На плоской поверхности луч частично преломляется и частично отражается. Отражение происходит в соответствии с законом отражения, а преломление — в соответствии с законом преломления (см. формулу (8.4)).

Если увеличивать угол падения, то можно заметить, что яркость (и следовательно, энергия) отраженного пучка усиливается, в то время как яркость (энергия) преломленного пучка падает. Особенно быстро убывает энергия преломленного пучка, когда угол преломления приближается к 90° . Наконец, когда угол падения становится таким, что преломленный пучок идет вдоль границы раздела двух сред (см. рис. 8.12), доля отраженной энергии составляет почти 100%. Повернем осветитель, увеличив угол падения до α_0 . Мы увидим, что преломленный пучок исчез и весь свет отражается от границы раздела двух сред, т. е. происходит полное отражение света.

Угол падения α_0 , соответствующий углу преломления 90° , называют предельным углом полного отражения. При $\sin \beta = 1$ формула (8.8) принимает вид

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n}. \quad (8.9)$$

Из этого равенства и может быть найдено значение предельного угла полного отражения α_0 . Для воды ($n = 1,33$) оно равно $48^\circ 35'$, для стекла ($n = 1,5$) принимает значение $41^\circ 51'$, а для алмаза ($n = 2,42$) составляет $24^\circ 40'$. Во всех случаях второй средой является воздух.

Явление полного отражения легко наблюдать на простом опыте. Нальем в стакан воду и поднимем его несколько выше уровня глаз. Поверхность воды, если рассматривать ее снизу сквозь стенку, кажется блестящей, словно посеребренной вследствие полного отражения света.

Явление полного отражения света используют в так называемой *волоконной оптике* для передачи света и изображения по пучкам прозрачных гибких волокон — световодов. Световод представляет собой стеклянное волокно цилиндрической формы, покрытое оболочкой из прозрачного материала с меньшим, чем у волокна, показателем преломления.

За счет многократного полного отражения свет может быть направлен по любому (прямому или изогнутому) пути (рис. 8.14). Волокна собираются в жгуты. При этом по каждому из волокон передается какой-нибудь элемент

изображения (рис. 8.15). Жгуты из волокон используются, например, в медицине для исследования внутренних органов.

Согласно формуле (7.6) энергия, переносимая волной, а следовательно, и передаваемый объем информации пропорциональны четвертой степени частоты. Частота же световых волн в 10^5 — 10^6 раз больше частоты радиоволн. Таким образом, с помощью световых волн можно передавать большой объем информации.

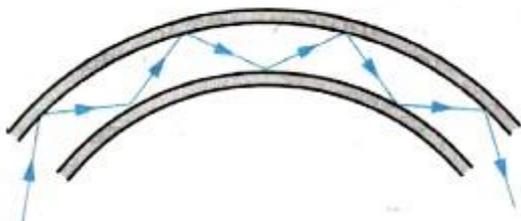


Рис. 8.14

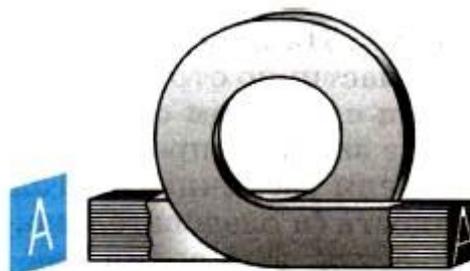


Рис. 8.15

В последнее время волоконная оптика широко используется для быстрой передачи компьютерных сигналов. По волоконному кабелю передается модулированное лазерное излучение.

Полное отражение света показывает, какие богатые возможности для объяснения явлений распространения света заключены в законе преломления. Вначале полное отражение представляло собой лишь любопытное явление. Сейчас оно постепенно приводит к революции в способах передачи информации.

ЗАДАНИЕ

1. Кратко написать конспект в рабочую тетрадь.

2. Вопросы (ответить письменно)

1. Чему равен предельный угол полного отражения на границе раздела сред алмаз — воздух?

2. Как называется телевизионная связь, которая основана на явлении полного отражения?