

## Физика 11 класс

Дистанционные уроки на неделю с 6 по 10 апреля 2020, 2 часа в неделю

Учитель физики информатики Гаджиагаев Тагир Гаджиагаевич

Учебник : Мякишев, Буховцев Физика 11 класс

**Внимание! Ответы на вопросы и задания оформлять письменно в рабочих тетрадях.  
Работы будут проверены**

1 занятие

§ 61 Закон преломления света, стр 180-184, см рис далее

Задание : Прочитать параграф, ответить на вопросы в конце параграфа,

2 занятие

§ 62 Полное отражение , стр 184-187

Задание : Прочитать параграф, ответить на вопросы в конце параграфа

## § 61. ЗАКОН ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА

Напомним, в чем состоит явление преломления света. Выведем закон преломления с помощью принципа Гюйгенса.

**Наблюдение преломления света.** На границе двух сред свет меняет направление своего распространения. Часть световой энергии возвращается в первую среду, т. е. происходит отражение света. Если вторая среда прозрачна, то свет частично может пройти через границу сред, также меняя при этом, как правило, направление распространения.

Это явление называется *преломлением света*. Вследствие преломления наблюдается кажущееся изменение формы предметов, их расположения и размеров. В этом нас могут убедить простые наблюдения. Положим на дно пустого непрозрачного стакана монету или другой небольшой предмет. Подвинем стакан так, чтобы центр монеты, край стакана и глаз находились на одной прямой. Не меняя положения головы, будем наливать в стакан воду. По мере повышения уровня воды дно стакана с монетой как бы приподнимается. Монета, которая ранее была видна лишь частично, теперь будет видна полностью. Установим наклонно карандаш в сосуде с водой. Если посмотреть на сосуд сбоку, то можно заметить, что часть карандаша, находящаяся в воде, кажется сдвинутой в сторону.

Эти явления объясняются изменением направления лучей на границе двух сред — преломлением света.

Закон преломления света определяет взаимное расположение падающего луча  $AB$  (рис. 151), преломленного  $DB$  и перпендикуляра  $CE$  к поверхности раздела сред, восстановленного в точке падения. Угол  $\alpha$  называется *углом падения*, а угол  $\beta$  — *углом преломления*.

Падающий, отраженный и преломленный лучи нетрудно наблюдать, сделав узкий световой пучок видимым. Ход

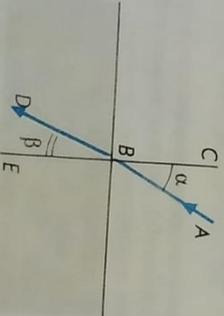


Рис. 151

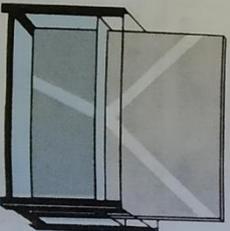


Рис. 152

такого пучка в воздухе можно проследить, если пустить в воздух немного дыма или же поставить экран под небольшим углом к лучу. Преломленный пучок также виден в подкрашенной флюоресцином воде аквариума (рис. 152).

**Вывод закона преломления света.** Закон преломления света был установлен опытным путем в XVII веке. Мы его выведем с помощью принципа Гюйгенса.

Преломление света при переходе из одной среды в другую вызвано различием в скоростях распространения света в той и другой среде. Обозначим скорость волны в первой среде через  $v_1$ , а во второй через  $v_2$ .

Пусть на плоскую границу раздела двух сред (например, из воздуха в воду) падает плоская световая волна (рис. 153). Волновая поверхность  $AC$  перпендикулярна лучам  $A_1A$  и  $V_1V$ . Поверхности  $MN$  сначала достигнет луч  $A_1A$ . Луч  $V_1V$  достигнет поверхности спустя время

$$\Delta t = \frac{CB}{v_1}.$$

Поэтому в момент, когда вторичная волна в точке  $B$  только начнет возбуждаться, волна от точки  $A$  уже имеет вид полусферы радиусом

$$AD = v_2 \Delta t.$$

Волновую поверхность преломленной волны можно построить, проведя поверхность, касательную ко всем вторичным волнам во второй среде, центры которых лежат на границе раздела сред. В данном случае это плоскость  $VD$ . Она является огибающей вторичных волн.

Угол падения  $\alpha$  луча равен углу  $CAB$  в треугольнике  $ABC$  (стороны одного из этих углов перпендикулярны сторонам другого). Следовательно,

$$CB = v_1 \Delta t = AB \sin \alpha. \quad (8.2)$$

Угол преломления  $\beta$  равен углу  $ABD$  треугольника  $ABD$ . Поэтому

$$AD = v_2 \Delta t = AB \sin \beta. \quad (8.3)$$

Разделив почленно (8.2) на (8.3), получим

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = n, \quad (8.4)$$

где  $n$  — постоянная величина, не зависящая от угла падения.

Из построения (см. рис. 153) видно, что *падающий луч, луч преломленный и перпендикуляр, составляют*

2020/3/27 17:23

## § 61. ЗАКОН ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА

Напомним, в чем состоит явление преломления света. Выведем закон преломления с помощью принципа Гюйгенса.

**Наблюдение преломления света.** На границе двух сред свет меняет направление своего распространения. Часть световой энергии возвращается в первую среду, т. е. происходит отражение света. Если вторая среда прозрачна, то свет частично может пройти через границу сред, так же меняя при этом, как правило, направление распространения.

Это явление называется *преломлением света*.

Вследствие преломления наблюдается кажущееся изменение формы предметов, их расположения и размеров. В этом нас могут убедить простые наблюдения. Положим на дно пустого непрозрачного стакана монету или другой небольшой предмет. Подвинем стакан так, чтобы центр монеты, край стакана и глаз находились на одной прямой. Не меняя положения головы, будем наливать в стакан воду. По мере повышения уровня воды дно стакана с монетой как бы приподнимается. Монета, которая ранее была видна лишь частично, теперь будет видна полностью. Установив наклонно карандаш в сосуде с водой. Если посмотреть на сосуд сбоку, то можно заметить, что часть карандаша, находящаяся в воде, кажется сдвинутой в сторону.

Эти явления объясняются изменением направления лучей на границе двух сред — преломлением света.

Закон преломления света определяет взаимное расположение падающего луча  $AB$  (рис. 151), преломленного луча  $DB$  и перпендикуляра  $CE$  к поверхности раздела сред, *лом падения*, а угол  $\beta$  — *углом преломления*.

Падающий, отраженный и преломленный лучи непрерывно наблюдаются, сделав узкий световой пучок видимым. Ход

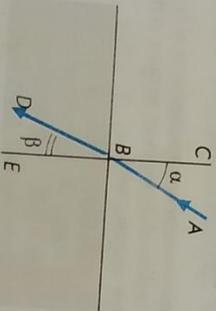


Рис. 151

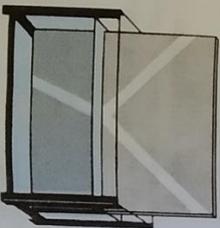


Рис. 152

такого пучка в воздухе можно проследить, если пустить в воздух немного дыма или же поставить экран под небольшим углом к лучу. Преломленный пучок также виден в подкрашенной фикооресционной воде аквариума (рис. 152).

**Вывод закона преломления света.** Закон преломления света был установлен опытным путем в XVII веке. Мы его выведем с помощью принципа Гюйгенса.

Преломление света при переходе из одной среды в другую вызвано различием в скоростях распространения света в той и другой среде. Обозначим скорость волны в первой среде через  $v_1$ , а во второй через  $v_2$ .

Пусть на плоскую границу раздела двух сред (например, из воздуха в воду) падает плоская световая волна (рис. 153). Волновая поверхность  $AC$  перпендикулярна лучам  $A_1A$  и  $B_1B$ . Поверхности  $MN$  сначала достигнет луч  $A_1A$ . Луч  $B_1B$  достигнет поверхности спустя время

$$\Delta t = \frac{CB}{v_1}.$$

Поэтому в момент, когда вторичная волна в точке  $B$  только начнет возбуждаться, волна от точки  $A$  уже имеет вид полусферы радиусом

$$AD = v_2 \Delta t.$$

Волновую поверхность преломленной волны можно получить, проведя поверхность, касательную ко всем вторичным волнам во второй среде, центры которых лежат на границе раздела сред. В данном случае это плоскость  $VD$ . Она является огибающей вторичных волн.

Угол падения  $\alpha$  луча равен углу  $CAB$  в треугольнике  $ABC$  (стороны одного из этих углов перпендикулярны сторонам другого). Следовательно,

$$CB = v_1 \Delta t = AB \sin \alpha. \quad (8.2)$$

Угол преломления  $\beta$  равен углу  $ABD$  треугольника  $ABD$ . Поэтому

$$AD = v_2 \Delta t = AB \sin \beta. \quad (8.3)$$

Разделив почленно (8.2) на (8.3), получим

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = n, \quad (8.4)$$

где  $n$  — постоянная величина, не зависящая от угла падения.

Из построения (см. рис. 153) видно, что *падающий луч, луч преломленный и перпендикуляр, составляют*

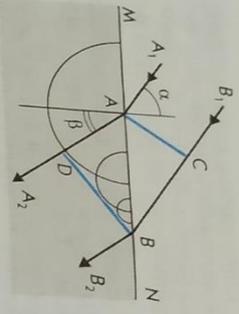


Рис. 153

ный в точке падения, лежащий в одной плоскости. Данное утверждение вместе с уравнением (8.4), согласно которому отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для двух сред, представляет собой закон преломления света.

Убедиться в справедливости закона преломления можно экспериментально, измеряя углы падения и преломления и вычисляя отношение их синусов при различных углах падения. Это отношение остается неизменным.

**Показатель преломления.** Постоянная величина, входящая в закон преломления света, называется *относительным показателем преломления* или показателем преломления второй среды относительно первой.

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  $\beta$  меньше угла падения  $\alpha$ , то согласно (8.4) скорость света во второй среде меньше, чем в первой.

Показатель преломления среды относительно вакуума называют *абсолютным показателем преломления этой среды*.

Он равен отношению синуса угла падения к синусу угла преломления при переходе светового луча из вакуума в данную среду.

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 физического состояния среды, т. е. от температуры вещества, его плотности, наличия в нем упругих напряжений. Показатель преломления зависит также от характеристик самого 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 зависимость от указанных 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 приблизительно  $n_1 \approx 1,000292$ . 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).

**Ход лучей в треугольной призме.** Закон преломления света позволяет рассчитать ход лучей в различных оптических устройствах, например в треугольной призме, изготовленной из стекла или других прозрачных материалов.

На рисунке 154 изображено сечение стеклянной призмы плоскокостью, перпендикулярной ее боковым ребрам. Луч в призме отклоняется к основанию, преломляясь на гранях  $OA$  и  $OB$ . Угол  $\varphi$  между этими гранями называют преломляющим углом призмы. Угол  $\theta$  отклонения луча зависит от преломляющего угла  $\varphi$  призмы, показателя преломления  $n$  материала призмы и угла падения  $\alpha$ .

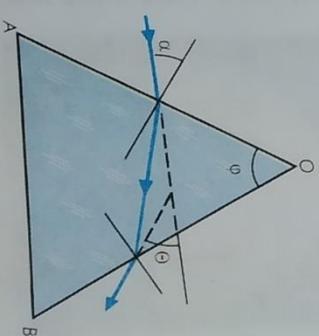


Рис. 154

Он может быть вычислен с помощью закона преломления (8.4).

Закон преломления нужно запомнить. Каково его значение? Формула (8.4) описывает бесчисленное множество случаев преломления. Она избавляет нас от необходимости проводить в каждом отдельном случае опыт и запоминать или заносить в таблицы угол падения и соответствующий ему угол преломления луча.

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

? 1. Каков физический смысл показателя преломления? 2. Чем отличается относительный показатель преломления от абсолютного?

## § 62. ПОЛНОЕ ОТРАЖЕНИЕ

Закон преломления света позволяет объяснить интегральное и практически важное явление — полное отражение света.

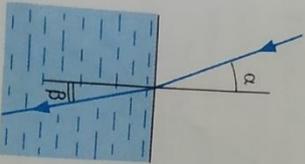


Рис. 155

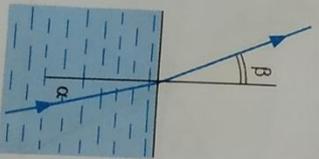


Рис. 156

При прохождении света из оптически менее плотной среды в более плотную, например из воздуха в стекло или воду,  $v_1 > v_2$  и согласно закону преломления (8.4) показатель преломления  $n > 1$ . Поэтому  $\alpha > \beta$  (рис. 155): преломленный луч приближается к перпендикуляру к границе раздела сред. Если направить луч света в обратном направлении — из оптически более плотной среды в оптически менее плотную вдоль ранее прелом-

ленного луча (рис. 156), то закон преломления запишется так:

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

Преломленный луч по выходе из оптически более плотной среды пойдет по линии бывшего падающего луча, поэтому  $\alpha < \beta$ , т. е. преломленный луч отклоняется от перпендикуляра. По мере увеличения угла  $\alpha$  угол преломления  $\beta$  также увеличивается, оставаясь все время больше угла  $\alpha$ . Наконец, при некотором угле падения значение угла преломления приблизится к  $90^\circ$ , и преломленный луч пойдет почти по границе раздела сред (рис. 157). Наибольшему возможному углу преломления  $\beta = 90^\circ$  соответствует угол падения  $\alpha_0$ .

Попробуем выяснить, что произойдет при  $\alpha > \alpha_0$ . При падении света на границу двух сред световой луч, как уже об этом упоминалось, частично преломляется, а частично отражается от нее. При  $\alpha > \alpha_0$  преломление света невозможно. Значит, луч должен полностью отражаться. Это явление и называется *полным отражением света*.

Для наблюдения полного отражения можно использовать стеклянный полуглиндар с матовой задней поверхностью. Полуглиндар закрепляют на диске так, чтобы середина плоской поверхности полуглинды совпала с центром диска (рис. 158). Узкий пучок света от осветителя направляют снизу на боковую поверхность полуглинды 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 (8.4).

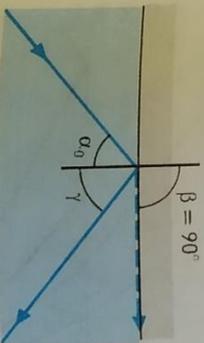


Рис. 157

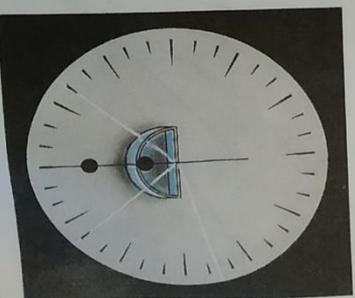


Рис. 158

Если увеличивать угол падения, то можно заметить, что яркость (и следовательно, энергия) отраженного пучка растет, в то время как яркость (энергия) преломленного пучка падает. Особенно быстро убывает энергия преломленного пучка, когда угол падения приближается к  $90^\circ$ . Наконец, когда угол падения становится таким, что преломленный пучок идет вдоль границы раздела (см. рис. 157), доля отраженной энергии составляет почти 100%. Повернем осветитель, сделав угол падения  $\alpha$  большим  $\alpha_0$ . Мы увидим, что преломленный пучок исчез и весь свет отражается от границы раздела, т. е. происходит полное отражение света.

На рисунке 159 изображен пучок лучей от источника, помещенного в воде недалеко от ее поверхности. Большая интенсивность света показана большей толщиной линии, изображающей соответствующий луч.

Угол падения  $\alpha_0$ , соответствующий углу преломления  $90^\circ$ , 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  $\alpha_0$ . Для воды ( $n = 1,33$ ) оно оказывается равным  $48^\circ 35'$ , для стекла ( $n = 1,5$ ) — имеет 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. Налейте в стакан воду и поднимем его не-

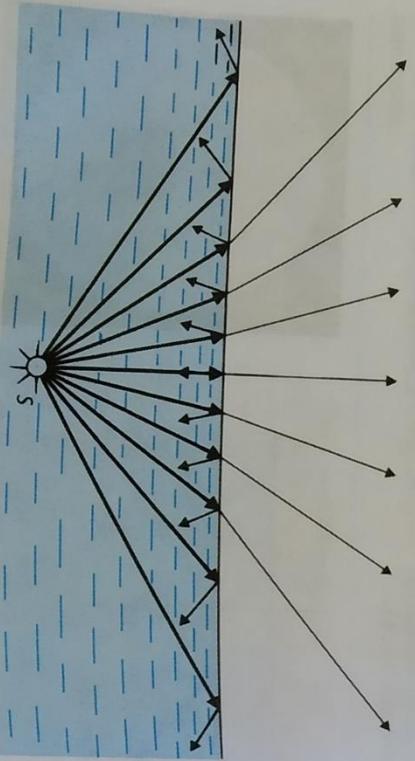


Рис. 159  
186

сколько выше уровня глаз. Поверхность воды при рассматривании ее снизу сквозь стенку кажется блестящей, словно посеребренной вследствие полного отражения света.

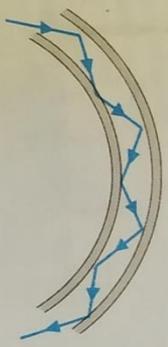


Рис. 160

Полное отражение 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 (прямоугольному или изогнутому) пути (рис. 160). Волокна собираются в жгуты. При этом по каждому из волокон передается какой-нибудь элемент изображения (рис. 161). Жгуты из волокон используются, например, в медицине для исследования внутренних органов.

По мере улучшения технологии изготовления длинных пучков волокон — световодов все шире начинают применяться связь (в том числе и телевизионная) с помощью световых лучей.

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.

? 1. Чему равен предельный угол полного отражения на границе алмаз—воздух? 2. Приведите примеры наблюдения полного отражения, не упомянутые в тексте.

**ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ**

Будем решать задачи на прямолинейное распространение света, закон отражения и закон преломления.

