

Математическа гимназия «Баба Тонка» - Русе

Венцислав Атанасов и Михаил Георгиев - 11 клас

Светлина

Разпространение, отражение и пречупване на светлината

Интерактивен урок по физика¹

Съдържание

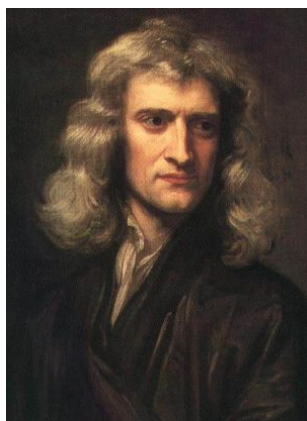
1	Разпространение на светлината	1
1.1	Природа на светлината	1
1.2	Скорост на светлината	2
1.3	Разпространение на светлината в различни среди	4
1.4	Скорост, честота и дължина на вълната на светлината	5
1.5	Въпроси и задачи към Урок 1	5
2	Оптични явления на границата между две среди	7
2.1	Светлинни лъчи	7
2.2	Отражение на светлината	8
2.3	Пречупване на светлината	9
2.4	Пълно вътрешно отражение	11
2.5	Приложения на пълното вътрешно отражение	12
2.6	Въпроси и задачи към Урок 2	13
3	Отражение и пречупване на светлината	15
3.1	Основни закономерности	15
3.2	Задачи за самостоятелна работа към Урок 3	16
4	Въпроси за самоконтрол по темата «Светлина»	17
	Решения на Примерите	19

¹Етикет 'Пример' дава връзка към решенията на задачите

1 Разпространение на светлината

1.1 Природа на светлината

- ✍ Чрез светлината и звука ние получаваме информация от околния свят. Човешкото око вижда предметите поради светлината, която те излъчват или отразяват. При това очите ни могат да разграничават съвсем малки промени в тяхната форма, яркост и цвят.
- ✍ Въпросът за природата на светлината е вълнувал хората още от дълбока древност.
- ✍ Древните гърци са смятали, че светлината се състои от малки частици, които, попадайки в човешкото око, предизвикват усещане за светлина.



Исак Нютон



Християн Хюйгенс

- ✍ Английският физик **Исак Нютон** използва тази хипотеза, за да обясни явленията *отражение* и *пречупване* на светлината.
- ✍ През 1670 г. холандският физик **Християн Хюйгенс** обяснява много от свойствата на светлината, като предполага, че тя е **вълна**.
- ✍ През 1801 г. **Томас Юнг** извършва опит, чрез който недвусмислено подкрепя идеята за вълновия характер на светлината.
- ✍ През 1865 г. **Джон Максвел** доказва, че електромагнитните вълни се разпространяват със скоростта на светлината и прави извод, че светлината е съвкупност от **електромагнитни вълни** с висока честота.



Томас Юнг



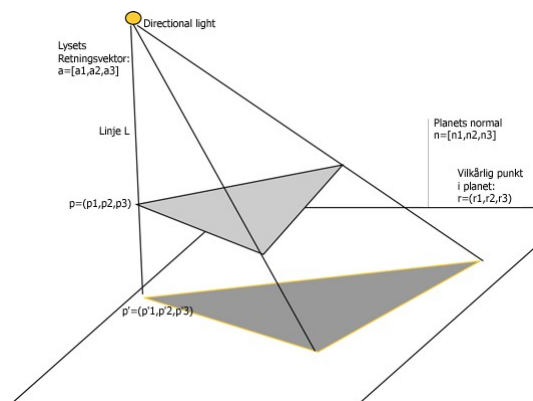
Джон Максвел

- ❖ Така, в края на XIX век, теорията за вълновия характер на светлината става общоприета.
- ❖ Според тази теория

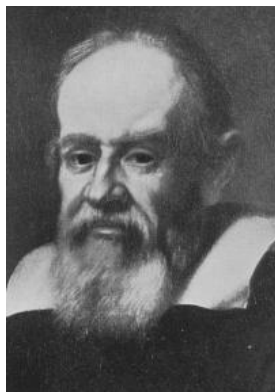
Светлината представлява електромагнитни вълни, чиято дължина е от около 400 nm ($4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$) до 700 nm ($4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$)

1.2 Скорост на светлината

Светлината се разпространява праволинейно в еднородна среда или във вакуум. В това можем да се убедим, ако наблюдаваме светлината от фенерче в мъглива нощ или в тъмна стая (с пращен въздух) или пък светлината, която се промъква между клоните на дърветата в гората след дъжд, когато въздухът съдържа много водни пари. Във всички тези случаи се виждат праволинейни светлинни снопове.



Светлината не прониква зад непрозрачно тяло - то хвърля сянка, чиято област можем да очертаем с прави линии, изобразяващи тънките светлинни снопове, които излъчва източникът на светлина.



Преди *XVII* век хората са смятали, че светлината се разпространява мигновено.

Галилео Галилей пръв предположил, че тя има **крайна скорост** и се опитал да я измери. Усилията му не се увенчали с успех, тъй като методът му не бил достатъчно точен. След него са правени много опити да се измери скоростта на светлината.

- ☞ Съвременната техника позволява тя да се измерва с голяма точност.
- ☞ Оказва се, че скоростта ѝ е различна за различни среди.
- ☞ Скоростта на светлината във вакуум е важна константа и се бележи с *c*. Стойността ѝ е $299\,792\,458\text{ m/s}$, но при решаване на редица задачи, за улеснение на пресмятанията, се приема, че е $3 \cdot 10^8\text{ m/s}$.
- ☞ За да добием представа колко голяма е тази скорост, ще разгледаме няколко примера.

Пример 1. Разстоянието между Слънцето и Земята е $1,5 \cdot 10^{11}\text{ m}$. Определете за колко време светлината от Слънцето достига Земята.

Пример 2. Определете за колко време светлинен лъч изминава разстоянието от София до Пловдив (150 km).

Пример 3. Разстоянието до Луната е определено с помощта на огледала, поставени на повърхността ѝ от американските астронавти. Светлинен импулс се изпраща от Земята до Луната и се връща обратно за $2,562\text{ s}$. Намерете разстоянието до Луната.

1.3 Разпространение на светлината в различни среди

Подобно на механичните и на другите електромагнитни вълни, **светлината пренася енергия**. Процесът на пренасяне на енергия се осъществява по-бързо или по-бавно в зависимост от средата, в която се разпространява светлината. Както вече отбелязахме, скоростта на светлината е различна в различни среди и е най-голяма във вакуум. Величината, която показва колко пъти скоростта на светлината е по-малка от скоростта ѝ във вакуум, е важна характеристика на средата. Тя се нарича *показател на пречупване* на средата спрямо вакуума и се бележи с n . По-подробно с тази величина ще се запознаем в следващия урок. И така:

$$n = \frac{\text{скоростта на светлината във вакуум}}{\text{скоростта на светлината в средата}} = \frac{c}{v} \quad (1)$$

От определението се вижда, че показателят на пречупване е безразмерна величина, която е по-голяма от единица, тъй като v е винаги по-малко от c . От (1) се вижда, че за вакуум $n = 1$.

Вещество	Скорост на светлината ($\frac{m}{s}$)	Показател на пречупване
въздух	299 704 943	1,000292
вода	$2,25 \cdot 10^8$	1,333
етилов алкохол	$2,20 \cdot 10^8$	1,361
стъкло	$1,98 \cdot 10^8$	1,515
диамант	$1,24 \cdot 10^8$	2,419
сол ($NaCl$)	$1,94 \cdot 10^8$	1,544

Таблица 1: Разпространение на светлината в различни среди

Като се използва равенство (1), можем да пресметнем показателя на пречупване на дадена среда спрямо вакуума, ако знаем скоростта на светлината в нея. Обратно, ако знаем показателя на пречупване за средата, можем да намерим скоростта на светлината в нея, като запишем формула (1) във вида $v = \frac{c}{n}$. В Таблица 1 са посочени скоростите на разпространение на светлината и показателите на пречупване на някои среди. Казва се, че средата, която има по-голям показател на пречупване, е оптически по-плътна и обратно - тази, която има по-малък показател на пречупване, е оптически по-рядка. Например от Таблица 1 се вижда, че стъклото е оптически по-рядка среда от диаманта.

Трябва да се знае, че показателят на пречупване зависи и от температурата на средата и от дължината на светлинната вълна. Ето защо, данните в Таблица 1 се отнасят за светлинна вълна с дължина 589 nm и температура на съответната среда $20^\circ C$.

1.4 Скорост, честота и дължина на вълната на светлината

Зависимостта между скоростта на светлината v , нейната дължина на вълната λ и честотата ν се изразява с познатата ви формула

$$v = \lambda\nu . \quad (2)$$

При преминаване от една среда в друга честотата на светлинната вълна не се променя. В това можем да се убедим, като си спомним, че честотата е равна на броя вълнови гребени, които достигат дадена точка за единица време. Всеки гребен на падащата вълна, който достига границата между двете среди, поражда гребен на вълна, преминаваща във втората среда. Следователно, броят вълнови гребени, които пристигат от първата среда към границата, е равен на броя гребени, които преминават във втората среда.

Дължината λ на вълната обаче зависи от свойствата на средата. Като се изрази v чрез n и c от (1) и се замести в (2), се получава

$$\frac{c}{n} = \lambda\nu \quad \text{или} \quad \frac{c}{\nu} = \lambda n . \quad (3)$$

Тъй като c е константа, а ν не се променя при преминаване от една среда в друга, може да се направи извод, че произведението λn запазва стойността си в различните среди. Следователно, при преминаване на светлината от среда 1 в среда 2, е в сила равенството

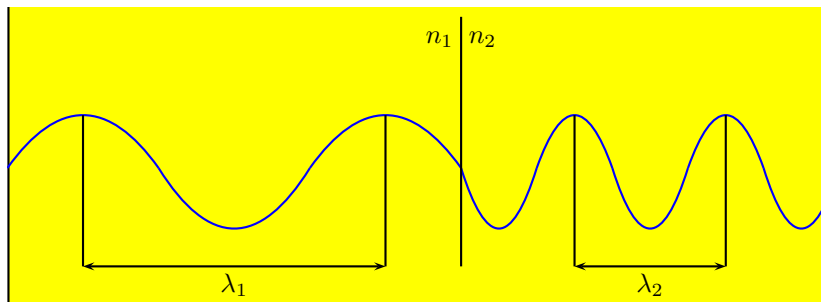
$$\lambda_1 n_1 = \lambda_2 n_2 . \quad (4)$$

В (4) с λ_1 , n_1 и λ_2 , n_2 са означени дължината на вълната и показателят на пречупване съответно в среда 1 и среда 2. То показва, че при навлизане например в среда с по-голям показател на пречупване, дължината на вълната намалява (Фигура 1). По-специално, от равенство (3) следва, че дължината на вълната λ в среда с показател на пречупване n е по-малка от дължината на вълната λ_0 във вакуум n пъти, т.е.

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n} .$$

1.5 Въпроси и задачи към Урок 1

Задача. Колко е честотата ν на светлина с дължина на вълната във вакуум $\lambda = 500 \text{ nm}$?



Фигура 1: Дължина на вълната на светлината при преминаване през две среди

Решение:

$$v_0 = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$\lambda = 500 \text{ nm} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$v = \lambda \cdot \nu$$

Следователно:

$$\nu = \frac{v_0}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{-7}} = 6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

□

Задача. Определете показателя на пречупване n на стъкло, в което светлината се разпространява със скорост $v = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

Решение:

$$n = \frac{c}{v} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^8} = \frac{3}{2} = 1,5$$

□

Задача. Сноп светлина има дължина във вакуум 500 nm , а в глицерин - 340 nm . Определете скоростта на светлината в глицерин.

Решение:

$$\lambda_0 = 500 \text{ nm} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda_{\text{ГЛ}} = 340 \text{ nm} = 3,4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$v_0 = \lambda_0 \cdot \nu$$

Следователно:

$$\nu = \frac{v_0}{\lambda_0} = \frac{3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{-7}} = \frac{3}{5} \cdot 10^{15} = 6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Следователно:

$$v_{\text{ГЛ}} = \lambda_{\text{ГЛ}} \cdot \nu = 3,4 \cdot 10^{-7} \cdot 6 \cdot 10^{14} = 2,04 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

□

Задача. Възможно ли е при преминаване на светлина от дадена прозрачна среда във вакуум дължината на вълната ѝ да се промени от 500 nm на 400 nm ?

Решение:

$$\nu = \text{const}$$

$$\lambda_1 = 400 \text{ nm}; \lambda_2 = 500 \text{ nm}$$

$$n = \frac{v_1}{v_2} > 1$$

$$v_1 = \nu \cdot \lambda = \nu \cdot 4 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$$

$$v_2 = \nu \cdot 5 \cdot 10^{-7}$$

$$n = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\nu \cdot 4 \cdot 10^{-7}}{\nu \cdot 5 \cdot 10^{-7}} = 0,8 < 1$$

Следователно:

не може

□

2 Оптични явления на границата между две среди

2.1 Светлинни лъчи

Както вече знаем, светлината се разпространява праволинейно в еднородна среда-спомнете си за примера за сенките на предметите, който споменахме в предишния урок. Знаем също, че дължината на светлинната вълна е много малка - около 10^{-7} m . Тя е много по-малка от разстоянията, на които се разпространява светлината, и в много случаи е по-малка от размерите на предметите, покрай които преминава. В тези случаи можем да разглеждаме разпространението на светлината, като «забравим» за нейния вълнов характер и въведем понятието светлинни лъчи.

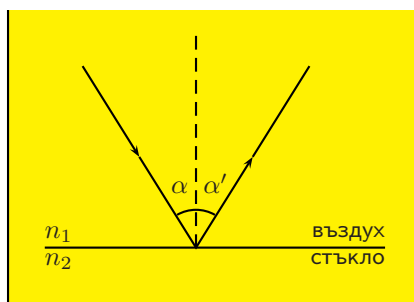
Светлинен лъч е толкова тесен светлинен сноп, че дебелината му може да не се вземе предвид.

В рамките на този модел много от законите на оптиката могат да се разгледат, като се използват понятията от геометрията. Тук ще го приложим за описание на явленията отражение и пречупване, които настъпват на границата между две среди.

Моделът не е приложим в случаите, когато разстоянията, на които се разпространява светлината, и/или размерите на предметите, покрай които преминава, са съизмерими с дължината на светлинната вълна.

2.2 Отражение на светлината

Отражение на светлината е явление, при което част от светлината, достигнала границата между две среди, променя посоката си на разпространение, като се връща отново в първата среда. Лъчът, който пада върху границата се нарича **падащ**, а този който се отдалечава от нея - **отразен** (Фигура 2). Падащият лъч, отразеният лъч и правата, перпендикулярна на отразяващата равнина в точката на падане, лежат в една и съща равнина, която се нарича **равнина на падане**. На Фигура 2 тази равнина съвпада с равнината на чертежа.



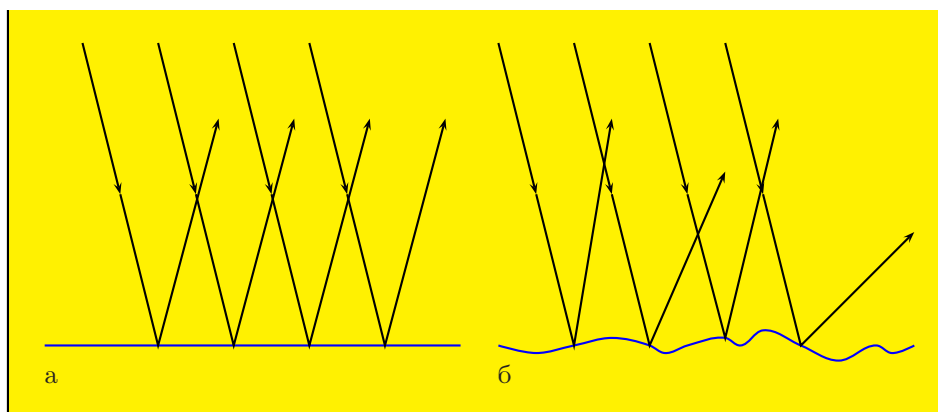
Фигура 2: Отражение на светлината

Опитно е установено, че ъгълът на падане α е равен на ъгъла на отражение α' :

$$\alpha = \alpha' \quad (5)$$

Тези ъгли се измерват от перпендикуляра в точката на падане към съответния лъч (вж. Фигура 2). От опитно установената зависимост следва, че ако лъчът пада перпендикулярно на равнината, $\alpha' = 0^\circ$.

Когато успореден сноп лъчи пада върху гладка повърхност (например огледало), отразените лъчи са също успоредни помежду си (Фигура 3 а). Ако обаче повърхността е грапава (например матово стъкло), отразените лъчи вече не са успоредни, а се разпространяват във всички посоки



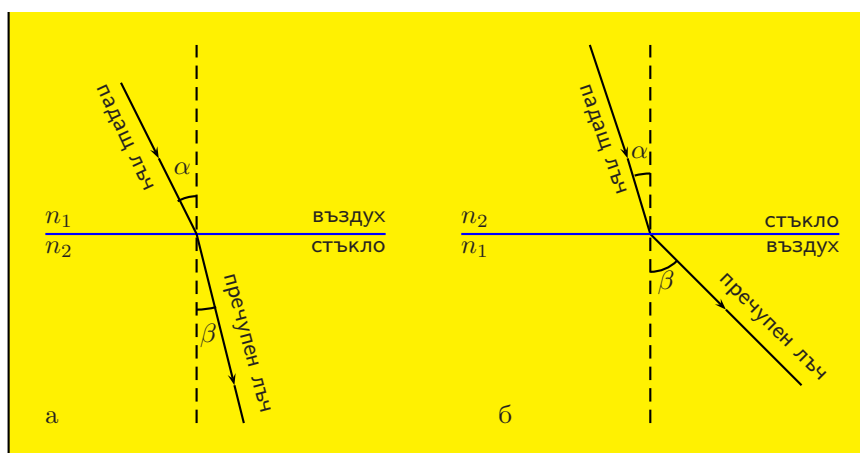
Фигура 3: Сноп лъчи върху гладка повърхност. Дифузия

(Фигура 3 б). Грапавата повърхност се състои от множество гладки сектори, ориентирани в различни направления. Отделните лъчи попадат върху различни сектори, т.е. ъглите на падане са различни. В резултат отразените лъчи имат различни посоки. Такова отражение се нарича **дифузно** и се среща често в ежедневието ни. Да разгледаме например какво става със светлината, излъчена от автомобилните фарове и попадаща върху повърхността на асфалта. Ако асфалтът е сух, повърхността му е грапава и отразените лъчи се разпространяват във всички посоки. Така пътят е добре видим и шофирането е лесно. В дъждовна нощ обаче, асфалтът е мокър и водата запълва грапавините. Тогава повърхността е значително по-гладка и отразените лъчи се разпространяват в една посока - напред. В такъв случай водачът на превозното средство ще вижда само това, което е пред него и няма да има достатъчно информация за пътя.

2.3 Пречупване на светлината

Пречупване на светлината е явление, при което част от светлината, достигнала границата между две среди, променя посоката си на разпространение, като преминава във втората среда. То се дължи на различните скорости на разпространение на светлината в двете среди. Лъчът, преминаващ във втората среда, се нарича **пречупен лъч**. Паданият лъч, пречупеният лъч и перпендикулярът към границата на двете среди в точката на падане лежат в равнината на падане (Фигура 4).

На (Фигура 4, а), пречупеният лъч сключва ъгъл β с перпендикуляра към граничната повърхност в точката на падане. Този ъгъл се нарича **ъгъл на пречупване**. Когато втората среда е оптически по-плътна от



Фигура 4: Пречупване на светлината

първата, $\beta < \alpha$ (вж. Фигура 4, а), а в обратния случай, $\beta > \alpha$ (Фигура 4, б). За произволни среди е в сила равенството:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (6)$$

Величината $n_{12} = \frac{n_2}{n_1}$ се нарича показател на пречупване на втората среда спрямо първата (последователността на индексите 1, 2 указва, че светлината минава от 1 в среда 2). Равенството (6) изразява закона на Снелиус. Според този закон

Отношението между синуса на ъгъла на падане и синуса на ъгъла на пречупване не зависи от ъгъла на падане и е равно на показателя n_{12} на пречупване на втората среда спрямо първата.

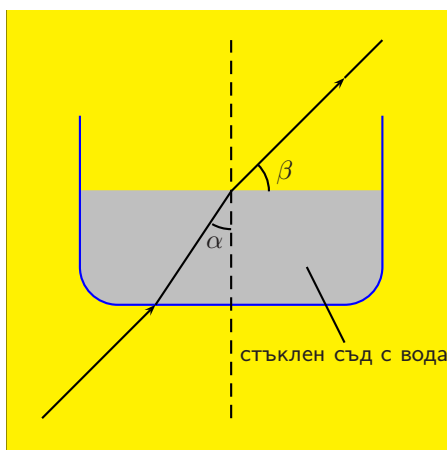
От закона на Снелиус следва, че лъч, падащ перпендикулярно към граничната повърхност, не променя посоката си, когато преминава във втората среда. Наистина в този случай $\alpha = 0$, $\sin \alpha = 0$ и следователно $\sin \beta = \frac{n_1}{n_2} \sin \alpha = 0$, откъдето $\beta = 0$. Този извод се потвърждава опитно.

От определението за показател на пречупване (вж. Урок 1) следва, че показателят на пречупване във вакуум е 1. Така, когато първата среда е вакуум (въздух), $n_{12} = n_2$. В Таблица 1 (Урок 1) са дадени именно стойностите на показателя на пречупване на различни вещества спрямо вакуум.

2.4 Пълно вътрешно отражение

Отражението и пречупването на светлината протичат едновременно, когато светлината достигне границата на две прозрачни среди с различна оптична плътност. Има обаче и случай, в който не се наблюдава преминаване на светлината във втората среда, въпреки, че тя е прозрачна. Тогава цялата светлина се връща обратно в първата среда. Можете да наблюдавате това явление, като направите следния опит:

Напълнете тънкостенен стъклен съд (вана) с вода. Насочете през една от околните и стени лъч от лазерна показалка към граничната повърхност вода-въздух (Фигура 5). Увеличавайте постепенно ъгъла α . При

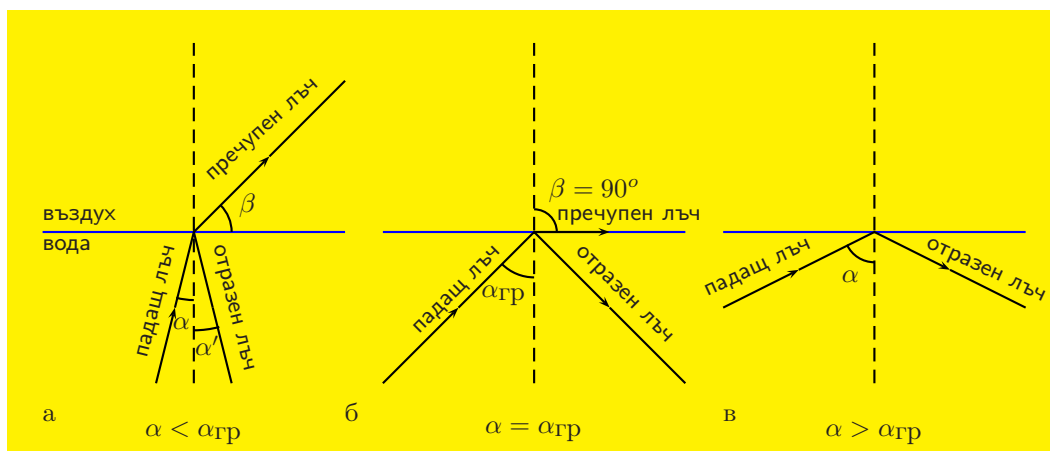


Фигура 5: Пълно вътрешно отражение

определена стойност на ъгъла на падане, пречупеният лъч «изчезва».

Да разгледаме например поведението на лъчите, които излизат от водата и навлизат във въздух, (Фигура 6, а). Тъй като показателят на пречупване на въздуха спрямо водата е по-малък от 1, ъгълът на пречупване β е по-голям от ъгъла на падане α . Когато ъгълът на падане се увеличава, ъгълът на пречупване също расте. Така се стига до един граничен ъгъл на падане $\alpha_{\text{гр}}$, при който $\beta = 90^\circ$, т.е. пречупеният лъч излиза, плъзгайки се по водната повърхност (Фигура 6, б). При по-нататъшно увеличаване на ъгъла на падане ($\alpha \geq \alpha_{\text{гр}}$) вече няма пречупен лъч и цялата светлина се връща обратно във водата (Фигура 6, в).

Пълно вътрешно отражение се нарича явлението, при което цялата светлина, попадаща върху граничната повърхност между две среди, се връща обратно в първата среда.



Фигура 6: Граничен ъгъл на падане

За да се осъществи пълно вътрешно отражение, са необходими две условия:

- ✗ Втората среда да е оптически по-рядка от първата (затова и отражението се нарича «вътрешно»).
- ✗ Ъгълът на падане да е по-голям от съответния граничен ъгъл.

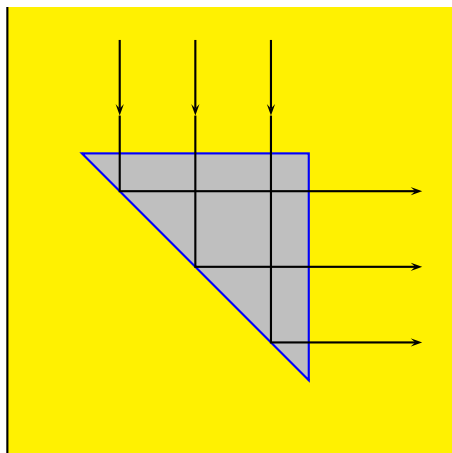
Граничният ъгъл може да се пресметне, като в закона на Снелиус (6) се положи $\alpha = \alpha_{\text{гр}}$ и $\beta = 90^\circ$. Тогава $\sin \beta = 1$ и следователно

$$\sin_{\text{гр}} = n_{12} \quad (7)$$

Например, за границата вода-въздух $\alpha_{\text{гр}} = 48,6^\circ$, а за стъкло-въздух $\alpha_{\text{гр}} = 41,3^\circ$.

2.5 Приложения на пълното вътрешно отражение

За границата стъкло-въздух $\alpha_{\text{гр}} < 45^\circ$. Ето защо пълно вътрешно отражение може да се осъществи върху широката страна на стъклена призма, чието напречно сечение е равнобедрен правоъгълен триъгълник (Фигура 7). Това се използва в редица оптически апарати и светлоотражатели, за да се промени посоката на светлинните лъчи без да има загуби от отражение. На (Фигура 8, а), с помощта на пълното вътрешно отражение посоката на разпространение на светлината се променя на 180° , а на (Фигура 8, б) е показано как чрез същото явление може да «се отмести» лъчът по вертикалата.



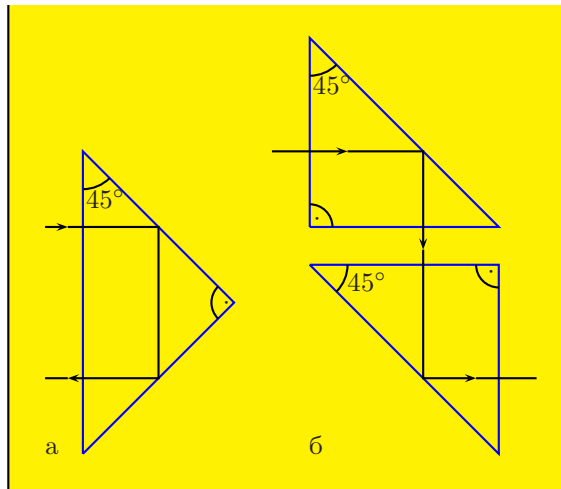
Фигура 7: Приложение на пълно вътрешно отражение

Най-модерното приложение на пълното вътрешно отражение е в т.нар. световоди. Те представляват тънки стъклени влакна, чийто показател на пречупване намалява от оста към периферията. Лъч, разпространяващ се в оптичното влакно, търпи последователни пълни вътрешни отражения и така не го напуска, следвайки неговите извивки. Сноп от успоредни оптични влакна образува оптичен кабел. С помощта на оптични кабели се конструират оптични линии за предаване на картини от едно място на друго. Поради нищожните загуби на енергия и способността да пренасят огромни количества информация оптичните кабели постепенно изместват металните кабели при предаване на телефонни разговори и телевизионни програми. Световодите се прилагат и в медицината за наблюдение на вътрешните органи на човека. За целта се използват два снопа оптични влакна. По единия светлината достига до вътрешния орган, а по другия отразената светлина се връща обратно към апаратурата, за наблюдение на картината върху монитор.

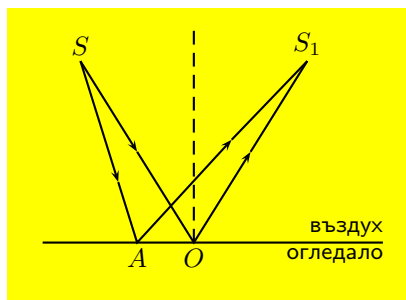
2.6 Въпроси и задачи към Урок 2

- ① Според т.нар. принцип на Ферма, светлината винаги се разпространява по най-краткия възможен път. Светлината от точков източник S се отразява от плоско огледало и достига точка S_1 (Фигура 9). Докажете, че пътят SOS_1 , определен от закона за отражение, е възможно най-краткият.

Указание: Начертайте образа S' на източника спрямо огледалото и разгледайте дължините на пътищата $S'OS_1$ и $S'AS_1$.



Фигура 8: Промяна на посоката и отместване по вертикала на лъч



Фигура 9: Плоско огледало

- ② По какво си приличат и по какво се различават явленията отражение и пречупване на светлината?
- ③ Възможно ли е светлинен лъч, падащ от границата между две прозрачни среди, да не се пречупи?
- ④ Начертайте хода на лъчите при пречупване на разходящ сноп от плоска повърхност. Определете вида на пречупения сноп.
- ⑤ Светлинен лъч навлиза от вакуум в стюда под ъгъл 54° и се пречупва под ъгъл 30° . Определете показателя на пречупване на стюдата и скоростта на светлината в нея.

Отговор: 1,62; $1,85 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

- ⑥ Светлинен лъч пада на границата между две среди под ъгъл 40° и се пречупва под ъгъл 60° . При какъв ъгъл на падане ще се наблюдава пълно вътрешно отражение?

Отговор: 48° .

3 Отражение и пречупване на светлината

(решаване на задачи)

3.1 Основни закономерности

В еднородна среда светлината се разпространява праволинейно. Скоростта v на разпространение зависи от свойствата на средата и е равна на

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

където c е скоростта на светлината във вакуум, n е показателят на пречупване на светлината.

На границата между две среди светлината променя посоката си, като частично се отразява и частично се пречупва. Посоката на отразените лъчи се определя само от посоката на падащите. Според закона за отражение на светлината

$$\alpha = \alpha' .$$

Посоката на пречупените лъчи се определя от посоката на падащите и от свойствата на двете прозрачни среди. Според закона на Снелиус

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

Когато първата среда е оптически по-плътна от втората, съществува ъгъл на падане α , при който пречупеният лъч се хлъзга по граничната повърхност ($\beta = 90^\circ$). При ъгъл на падане, по-голям от този, светлината търпи пълно вътрешно отражение. Големината на граничния ъгъл се определя от свойствата на двете среди чрез зависимостта

$$\sin \alpha_{\text{гп}} = \frac{n_2}{n_1}$$

Пример 4. Сноп успоредни лъчи пада върху водна повърхност под ъгъл 60° . Широчината на снопа във въздух е 10 см. Определете широчината на пречупения сноп. Показателят на пречупване на водата е 1,33.

Пример 5. Светлинен лъч пада под ъгъл 40° върху плоскопаралелна стъклена пластина с дебелина 1 см. Лъчът, пречупен от двете повърхности на пластината, е отместен успоредно спрямо падащия на разстояние 2,3 mm. Определете показателя на пречупване на стъклото.

Пример 6. Светлинен лъч пада под ъгъл 45° към триъгълна призма. Пречупеният лъч преминава втората гранична повърхност на призмата, без да се отклони. Определете ъгъла при върха на призмата, ако материалът, от който е направена, има показател на пречупване 1,4.

3.2 Задачи за самостоятелна работа към Урок 3

① Лазерен лъч пада под ъгъл 40° към пода на стая. Под какъв ъгъл спрямо пода трябва да се постави плоско огледало, така че отразеният лъч да се насочи:

- а) хоризонтално;
- б) вертикално?

Разгледайте всички възможни случаи.

Отговор: 25° , 65° , 20° , 70° .

② Скоростта на светлината в диамант е $1,22 \cdot 10^8$ m/s. Определете показателя на пречупване и големината на граничния ъгъл при пълно вътрешно отражение на границата диамант-въздух.

Отговор: 2,46; 24° .

③ При ъгъл на падане 60° , ъгълът на пречупване е 40° . Какъв ще бъде ъгълът на пречупване при същите условия, ако намалим ъгъла на падане два пъти?

Отговор: $21,5^\circ$.

- ④ Да се начертае хода на светлинен лъч, насочен успоредно на основата на триъгълна призма, ако материалът, от който е направена призмата има по-малка оптична плътност от околната среда.
- ⑤ На дъното на съд, запълнен с вода до височина $h = 10$ см, се намира точков източник на светлина. На повърхността на водата плава непрозрачна кръгла пластина, чийто център се намира над източника. При какъв минимален радиус на пластината, лъчите на източника няма преминават във въздуха? Показателят на пречупване на водата е 1,33.

Отговор: 11,4 см.

4 Въпроси за самоконтрол по темата «Светлина»

СТАРТ! Отговорете на следващите въпроси за самоконтрол.

1. Колко е дължината на светлинна вълна с честота $\nu = 1.10^{15} \text{ Hz}$, разпространяваща се във вакуум?

$$3.10^7 m \quad 30.10^{-7} m \quad 10^3 m \quad 3.10^{-7} m$$

2. Светлинен лъч пада на границата между две прозрачни среди. Скоростите на светлината съответно в първата и втората среда е ν_1 и ν_2 . Отношението $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$ е равно на:

$$\nu_1 \quad \nu_2 \quad \frac{\nu_1}{\nu_2} \quad \frac{\nu_2}{\nu_1}$$

3. Светлинен лъч пада на границата между две прозрачни среди с показатели на пречупване съответно n_1 и n_2 . Отношението $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$ е равно на:

$$n_1 \quad n_2 \quad \frac{n_1}{n_2} \quad \frac{n_2}{n_1}$$

4. Светлинен лъч сключва ъгъл γ с равнината на плоско огледало. Ъгълът между падащия и отразения лъч е:

$$2\gamma \quad 90^\circ - \gamma \quad 90^\circ - 2\gamma \quad 180^\circ - \gamma$$

5. Светлинен лъч, насочен вертикално надолу към плоско огледало, след отражение сключва ъгъл 20° с хоризонта. Ъгълът между падащия лъч и равнината на огледалото е:

20°

35°

55°

70°

6. Явление, при което част от светлината, достигнала границата между две среди, променя посоката си на разпространение, като се връща отново в първата среда, се нарича:

отражение

движение

поглъщане

пречупване

на светлината.

7. Пълно вътрешно отражение се нарича явлението, при което:

цялата светлина, попадаща върху граничната повърхност между двете среди, продължава успоредно на нея.

цялата светлина, попадаща върху граничната повърхност между двете среди, се връща обратно в първата среда.

цялата светлина, попадаща върху граничната повърхност между двете среди, продължава във втората среда.

цялата светлина, попадаща във втората среда, се връща обратно на граничната повърхност и продължава успоредно на нея.

8. Светлината представлява

магнитна вълна,

електромагнитна вълна,

чиято дължина е от около $400nm$ до $700nm$.

РЕЗУЛТАТ:

Решения на Примерите

Пример 1. Светлината изминава разстоянието от Слънцето до Земята за време

$$t = \frac{1,5 \cdot 10^{11} m}{3 \cdot 10^8 m/s} = 500 s$$

или около 8 минути. Излъчената от далечни звезди и галактики светлина стига до нас за много дълго време. Затова е прието да се казва, че астрономите виждат в миналото. ◀ Пример 1

Пример 2. За да измине разстоянието от София до Пловдив ($150 km$) на светлината ѝ е нужно време

$$t = \frac{150\,000 m}{3 \cdot 10^8 m/s} = 5 \cdot 10^{-4} s$$

т.е. около $0,5 ms$. ◀ Пример 2

Пример 3. Нека d е търсеното разстояние. Светлината изминава това разстояние два пъти със скорост c за време $t = 2,562 s$. Тогава

$$2d = c \cdot t \quad \text{и оттук} \quad d = 0,5c \cdot t = 0,5 \cdot 3 \cdot 10^8 m/s \cdot 2,562 s = 3,843 \cdot 10^8 m$$

◀ Пример 3

Пример 4. Дадено: $\alpha = 60^\circ$, $a = 10 cm$, $n = 1,33$

Да се намери: b

Решение: На водната повърхност снопът се пречупва, както е показано на Фигура 10.

Разглеждаме правоъгълния триъгълник $\triangle ABC$. Ъгълът при върха A е равен на ъгъла на падане α , а катетът AC - на широчината a на снопа. Разстоянието между двете крайни точки на падане A и B е

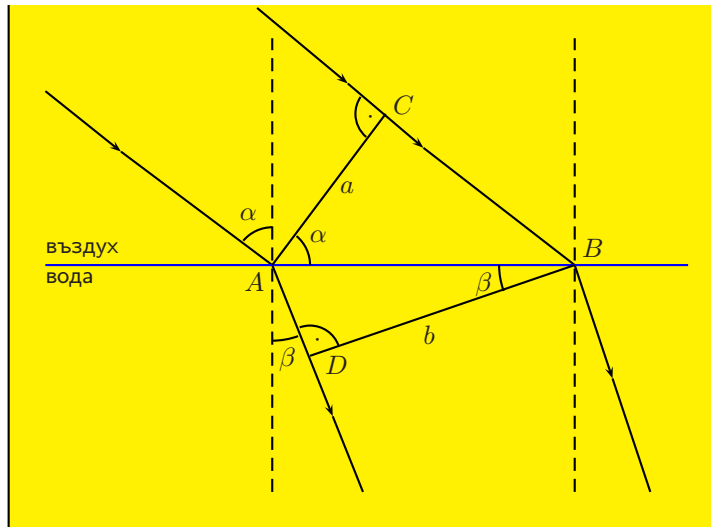
$$AB = \frac{a}{\cos \alpha}.$$

Аналогично от $\triangle ABD$ получаваме

$$AB = \frac{b}{\cos \beta}$$

След като приравним десните части на получените изрази

$$\frac{a}{\cos \alpha} = \frac{b}{\cos \beta}.$$



Фигура 10: Решение на Пример 4

за широчината на снопа във вода получаваме

$$b = \frac{a \cdot \cos \beta}{\cos \alpha}. \quad (8)$$

Ъгълът на пречупване се изразява от закона на Снелиус

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n, \quad \sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n}.$$

Определя се $\cos \beta$ от зависимостта

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{n},$$

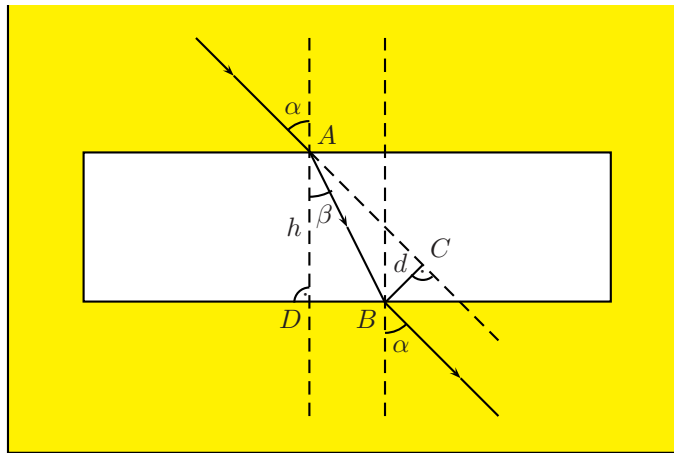
и след заместване в (8) се получава

$$b = \frac{a \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{n \cdot \cos \alpha} \\ = \frac{10 \cdot \sqrt{1,33^2 - \sin^2 60^\circ}}{1,33 \cdot \cos 60^\circ} = \frac{10 \cdot \sqrt{1,77 - 0,75}}{1,33 \cdot 0,5} = 15,2 \text{ cm}.$$

При преминаване на успореден светлинен сноп от оптически по-рядка в оптически по-плътна среда широчината му се увеличава.

◀ Пример 4

Пример 5. Дадено: $h = 1 \text{ cm}$, $d = 2,3 \text{ mm}$, $\alpha = 40^\circ$.



Фигура 11: Решение на Пример 5

Да се намери: n

Решение:

На Фигура 11 е даден ходът на лъча при пречупване от двете повърхности на пластината. Отместването на пречупения лъч d е равно на дължината на перпендикуляра BC , спуснат от т. B към продължението на падащия лъч. Разглеждаме $\triangle ADB$ и $\triangle ACB$, които имат обща страна AB . От $\triangle ADB$ следва

$$\frac{h}{AB} = \cos \beta \quad \text{и} \quad AB = \frac{h}{\cos \beta} .$$

Аналогично, от $\triangle ACB$ се намира

$$\frac{d}{AB} = \sin(\alpha - \beta) \quad \text{и} \quad AB = \frac{d}{\sin(\alpha - \beta)} .$$

Приравняват се получените изрази за AB и се получава

$$\frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta} = \frac{d}{h} .$$

Като се използва формулата $\sin(\alpha - \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta - \sin \beta \cdot \cos \alpha$ и двете страни на равенството се разделят на $\cos \alpha$, се намира

$$\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta = \frac{d}{h \cos \alpha} ,$$

откъдето се изразява ъгъла на пречупване β

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \alpha - \frac{d}{h \cdot \cos \alpha} = \operatorname{tg} 40^\circ - \frac{0,23 \text{ cm}}{1 \text{ cm} \cdot \cos 40^\circ} = 0,54 \quad , \quad \beta = 28^\circ .$$

Показателят на пречупване на стъклото се изразява от закона на Снелиус

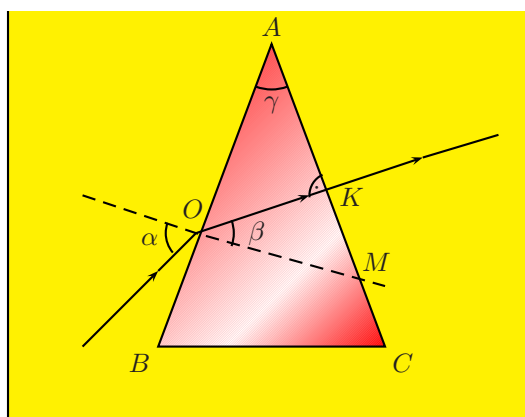
$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin 40^\circ}{\sin 28^\circ} = \frac{0,64}{0,47} \approx 1,36.$$

◀ Пример 5

Пример 6. Дадено: $\alpha = 45^\circ$, $n = 1,4$.

Да се намери: γ

Решение: Пречупеният от първата повърхност лъч няма да се от-



Фигура 12: Решение на Пример 6

клони, ако пада под ъгъл 90° към страната AC (Фигура 12). Тогава ъгълът на пречупване $\angle MOK$ е равен на ъгъла при върха на призмата $\angle OAK$ (ъгли с взаимно перпендикулярни рамене). От закона на Снелиус следва

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n,$$

$$\sin \gamma = \frac{\sin \alpha}{n} = \frac{\sin 45^\circ}{1,4} = \frac{0,7}{1,4} = 0,5 \quad , \quad \gamma = 30^\circ$$

◀ Пример 6