

# ОПТИКА



Област от физиката, която се занимава с изучаване на разпространението на светлината и взаимодействието ѝ с материята

## **Връзка с други науки**

**Астрономия и космология**

**Микроскопия**

**Спектроскопия**

**Атомна физика**

**Квантова теория и приложенията ѝ**

**Теория на относителността**

**Лазери и приложенията им**

**Модерни технологии и приложенията им**

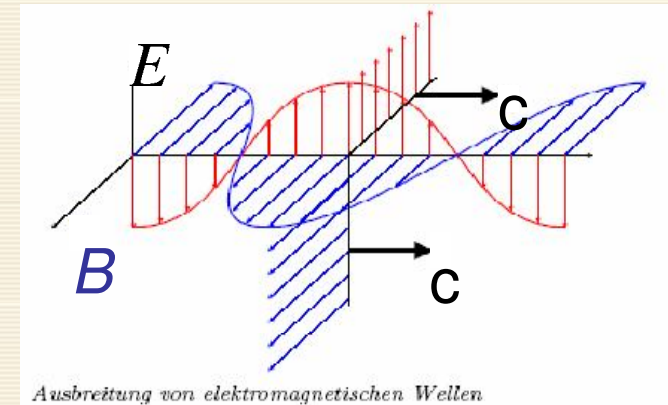
(оптоелектроника, фотоника, дисплеи, оптични покрития, телекомуникации, битова електроника, нанооптика и технологии)



# Теории за природата на светлината

- *Електромагнитна теория* на Максвел светлината като електромагнитни вълни, разпространяващи се със скорост

$$c = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$



- *Корпускулярно-вълнов дуализъм*

светлината като поток от частици фотони, които проявяват вълнови свойства, разпространяват се като вълни и могат да претърпяват дифракция и интерференция.

$$E = h\nu$$



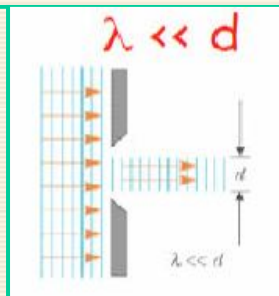
# Два подхода в класическата оптика

## Геометрична оптика

Вълновата природа на светлината не се отчита



дължината на вълната е много по-голяма от размерите на обектите



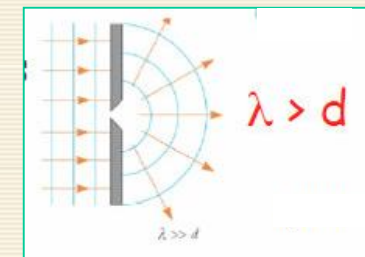
устройството и действието на редица оптически уреди

## Вълнова оптика

Базира се на вълновата природа на светлината



дължината на вълната е сравнима с размерите на обектите



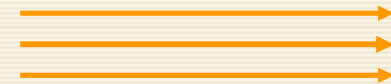


# Геометрична оптика

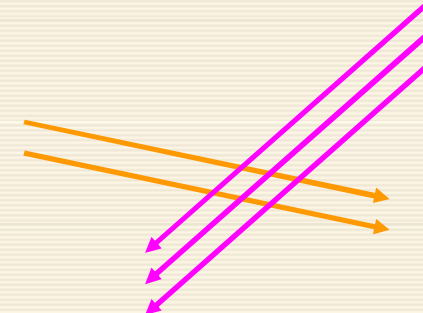
Светлинен лъч – линията, по която се разпространява потокът светлинна енергия.

Посоката на разпространение се определя от вълновия вектор.

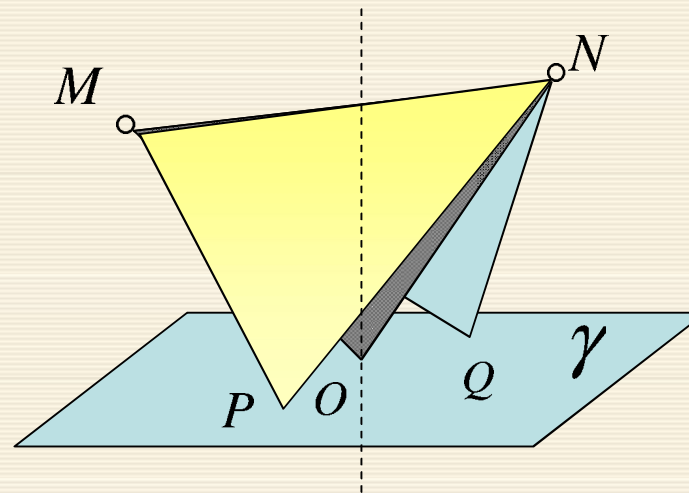
**Закон за праволинейно разпространение на светлината:**  
в хомогенни прозрачни среди светлината се разпространява праволинейно.



**Закон за независимостта на лъчите:**  
при пресичането си светлинните лъчи не си влияят.

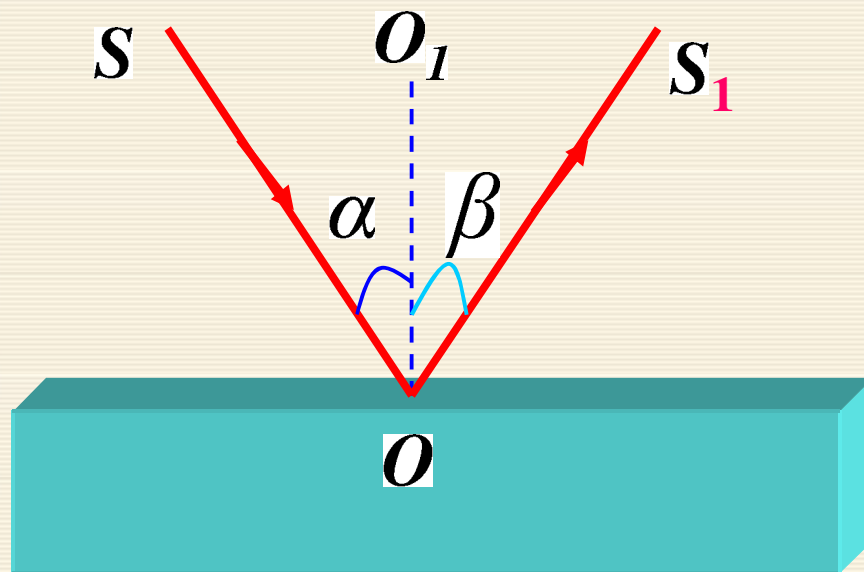


# Принцип на Ферма



***Пътят на разпространение на светлината в дадена среда е минималният по време.***

# Закони на отражение



$SO$  – падащ лъч  
 $OS_1$  – отразен лъч  
 $OO_1$  – нормала  
 $\alpha$  – ъгъл на падане  
 $\beta$  – ъгъл на отражение.

- Падащият лъч  $SO$  и отразеният лъч  $OS_1$  лежат в равнината определена от падащия лъч и нормалата  $OO_1$  към граничната повърхност в точката на падане.
- Ъгълът на отражение  $\beta$  е равен на ъгъла на падане  $\alpha$

$$\alpha = \beta$$

# Видове отражение

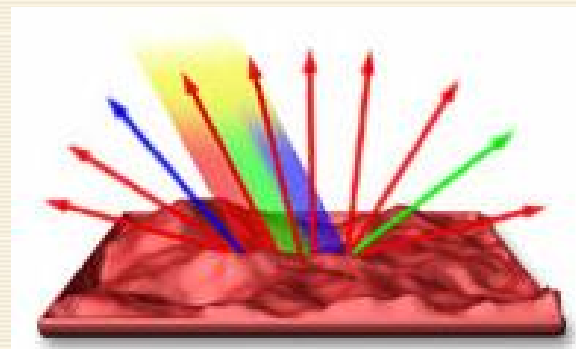
**Огледално:**

отражение от гладки  
повърхности



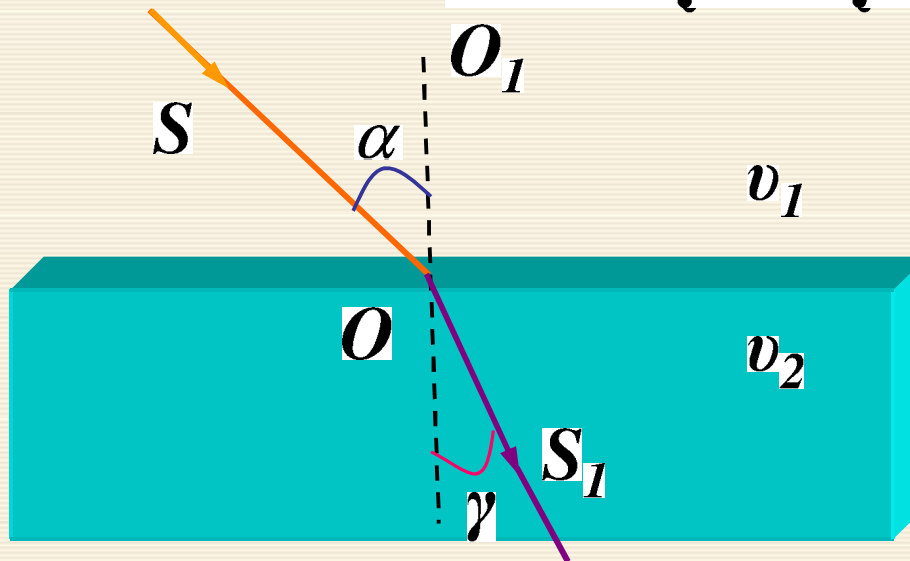
**Дифузно:**

отражение от грапави  
повърхности





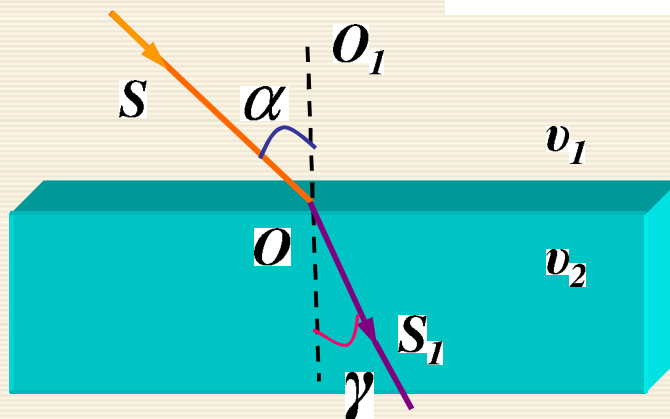
# Закони на пречупване



$SO$  – падащ лъч,  $OS_1$  – пречупен лъч,  $OO_1$  – нормала  
 $\alpha$  – ъгъл на падане,  $\gamma$  – ъгъл на пречупване.

Падащият лъч  $SO$  и пречупеният лъч  $OS_1$  лежат в равнината определена от падащия лъч и нормалата  $OO_1$  към граничната повърхност в точката на падане.

# Закони на пречупване



**Закон за пречупване на светлината (закон на Снелиус):**  
синусите на ъглите на падане и пречупване се отнасят така,  
както скоростите на светлината в първата и втората среда

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}$$

**Основно уравнение на геометричната оптика**

$n$  – абсолютен показател на пречупване:  $n = \frac{c}{v}$

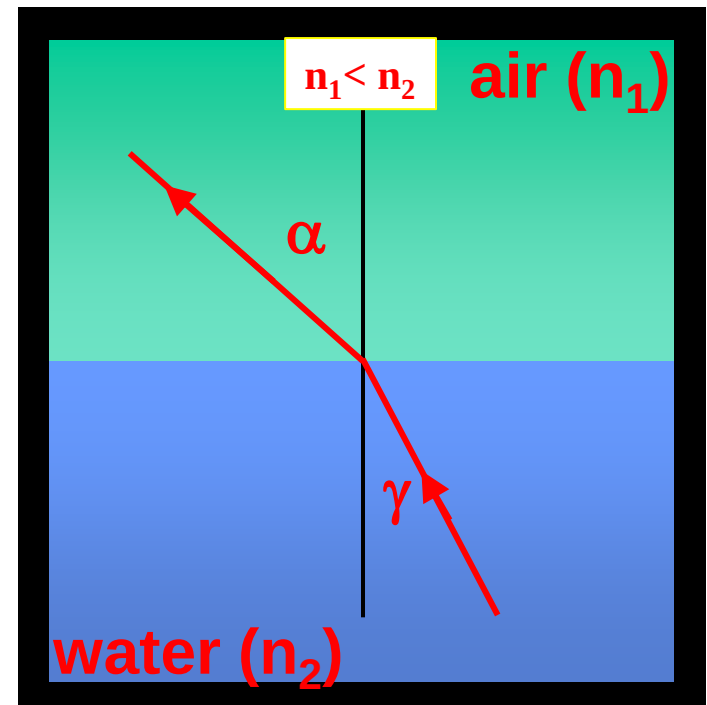
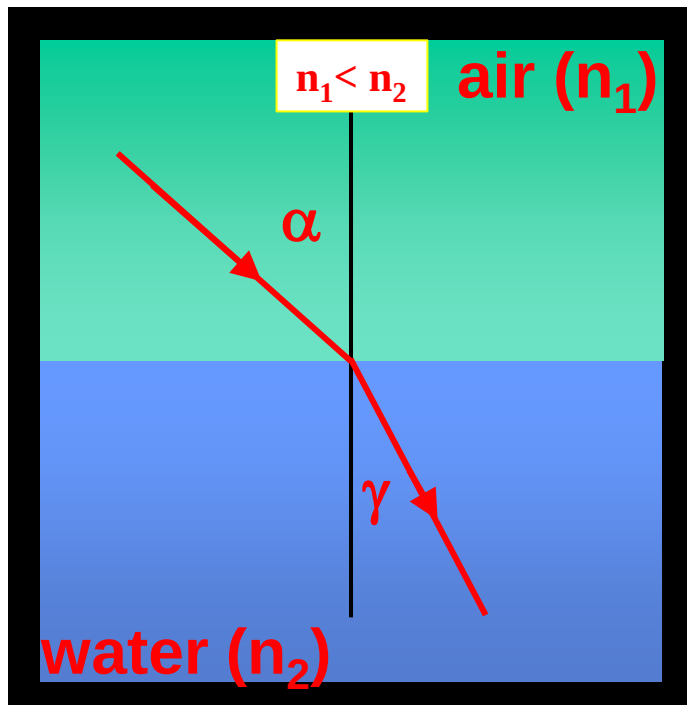
$c$  – скорост във вакуум

# Закони за отражение и пречупване : Закон на Снелиус

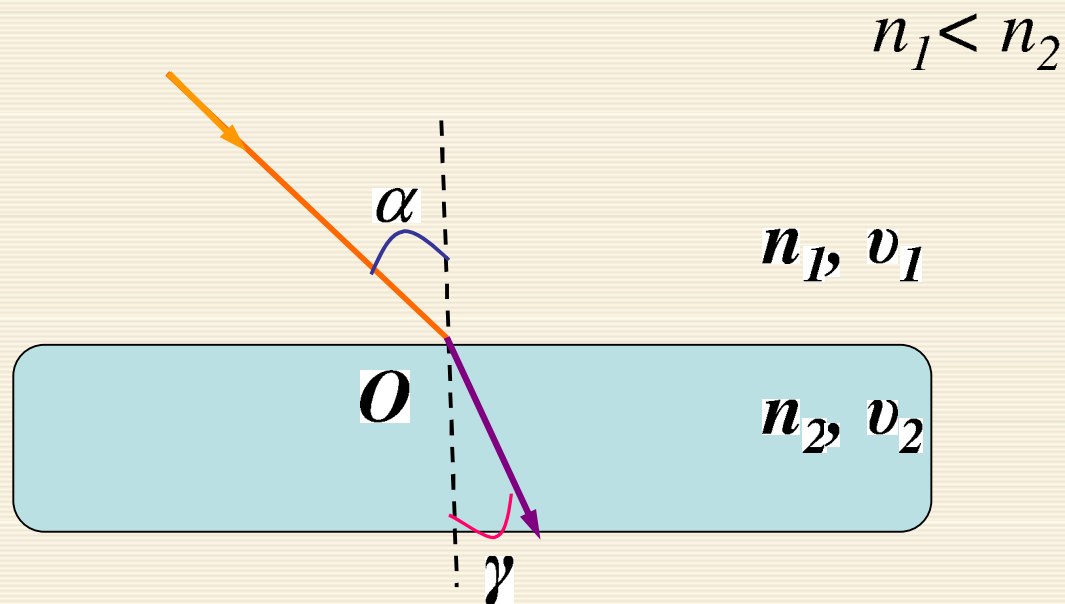
Една част от падналата светлина се отразява от границата между двете среди а друга част преминава във втората среда

**Закона на Снелиус, дава връзката между ъглите на падане и пречупване и показателите на пречупване на двете среди:**

$$n_1 \sin(\alpha) = n_2 \sin(\gamma) .$$

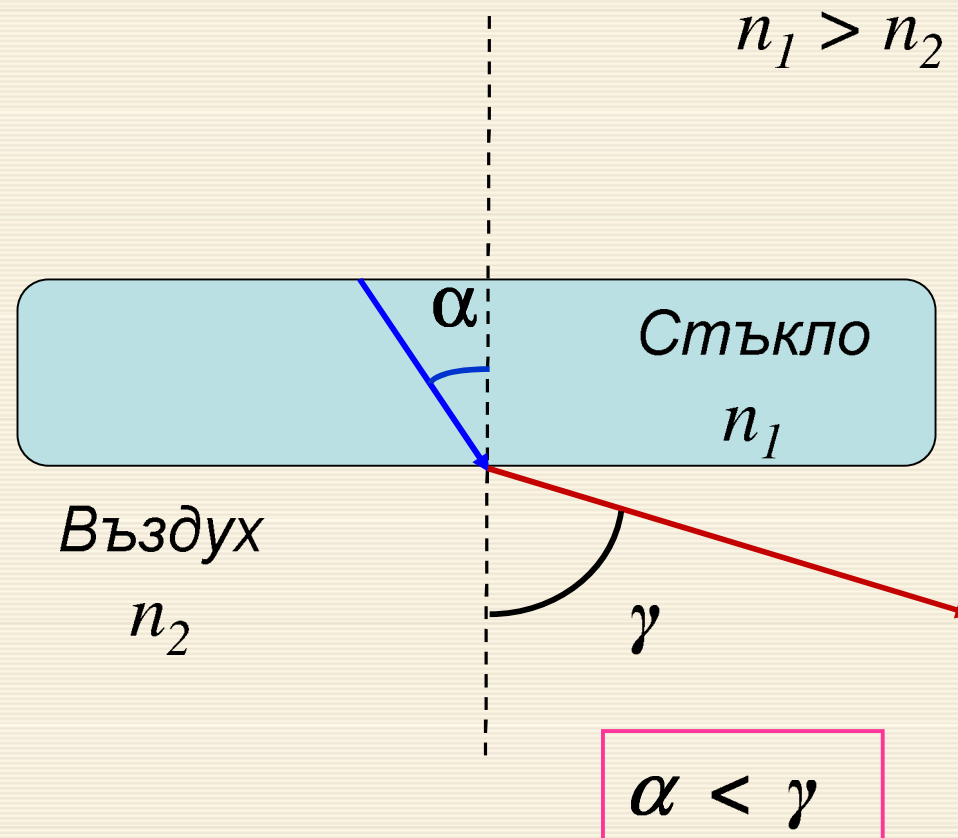


## Преминаване на светлина от въздух в стъкло



Ъгълът на пречупване е по-малък от ъгъла на падане

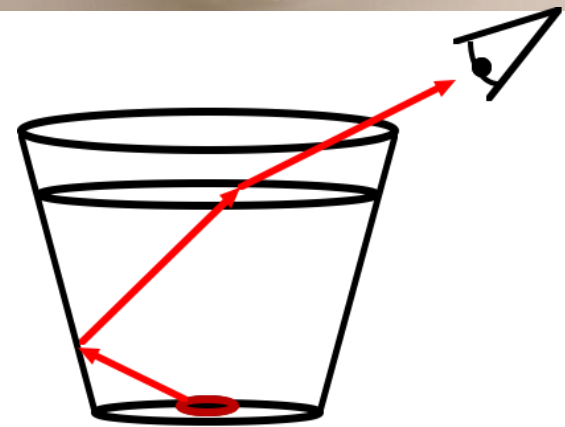
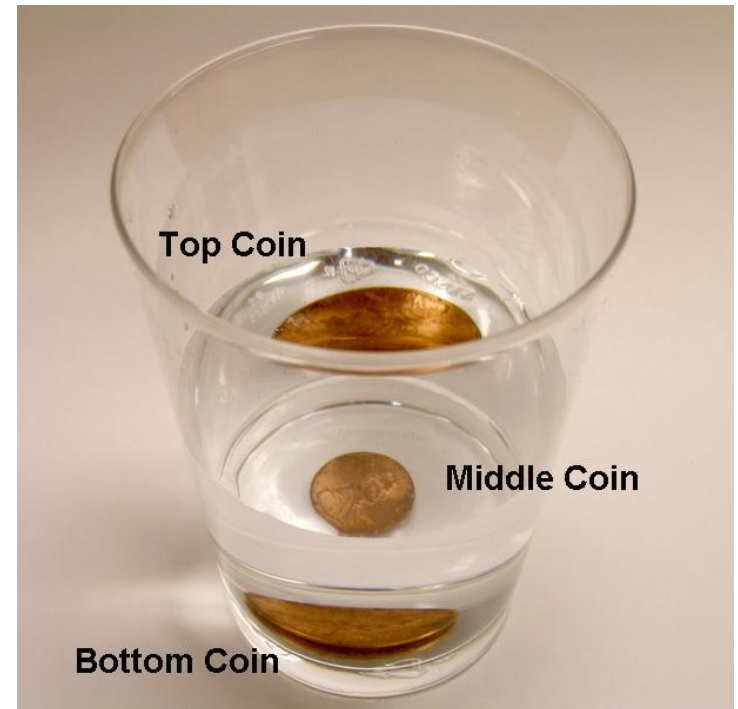
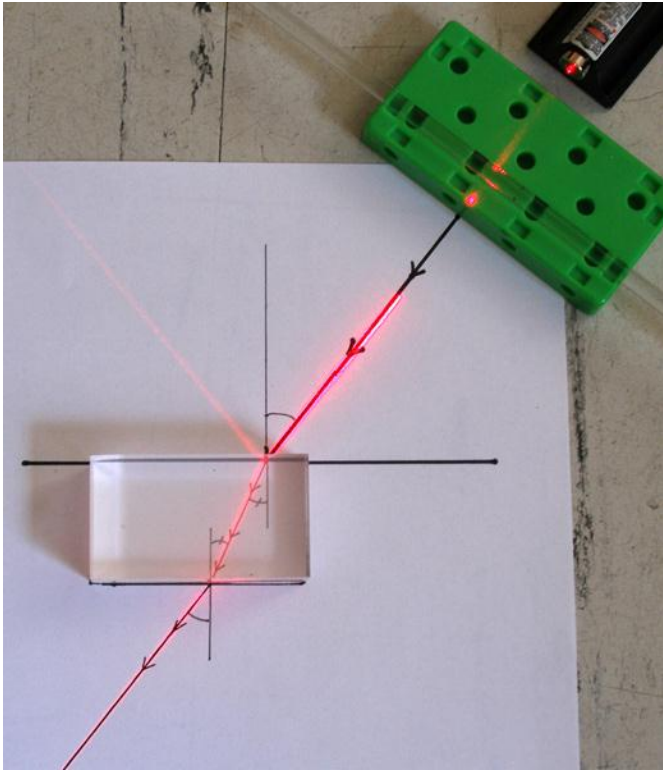
## Преминаване на светлина от стъкло във въздух



Ъгълът на пречупване е по-голям от ъгъла на падане



# Закон на Снелиус



### Пример 1 (Максимов 87.1)

Показателят на пречупване на магнезиевия оксид е  $n=1.75$ . Намерете скоростта на светлината в този материал. Как се изменя дължината на вълната в съответната среда и във вакуум? Каква ще е разликата в оптичните пътища на светлината в съответната среда и във вакуум при равен геометричен път?

$$u = \frac{c}{n} = 1.7 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$\lambda = \frac{u}{\nu} = \frac{c}{n\nu} = \frac{\lambda_0}{n}$$

$$\Delta x = (nx - x)$$

## Задача

Лъч, който сключва ъгъл  $40^\circ$  с перпендикуляра към повърхността на стъклена плочка ( $n = 1,515$ ), частично се отразява и частично прониква в стъклото. Намерете ъгъла между отразения и пречупения лъч.

Решение:

От закона на Снелиус следва, че за ъгъла на пречупване:

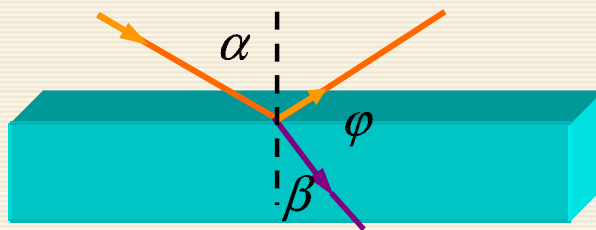
$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n} = \frac{\sin 40^\circ}{1,515} = \frac{0,6428}{1,515} = 0,4243$$

а самият ъгъл на пречупване е  $\beta \approx 25^\circ$ .

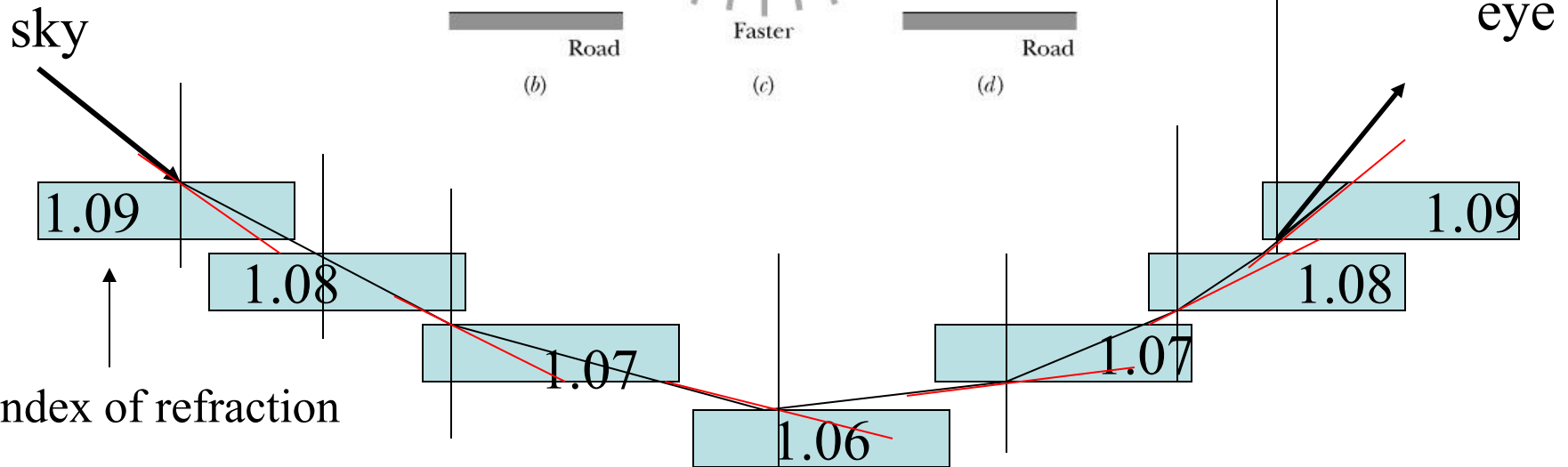
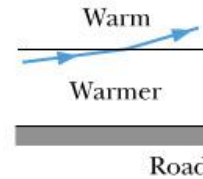
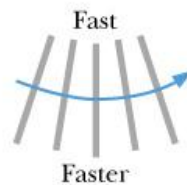
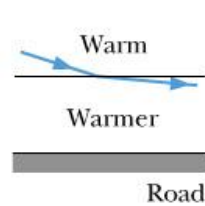
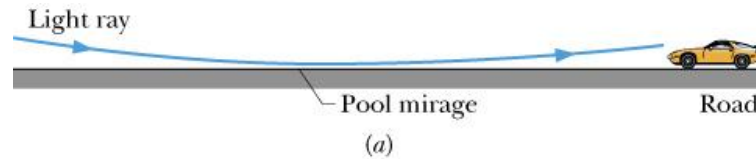
При ъгъл на падане  $\alpha = 40^\circ$ , ъгълът на отражение е също  $40^\circ$

Следователно търсеният ъгъл между пречупения и отразения лъч е

$$\varphi = 180^\circ - (40^\circ + 25^\circ) = 115^\circ$$

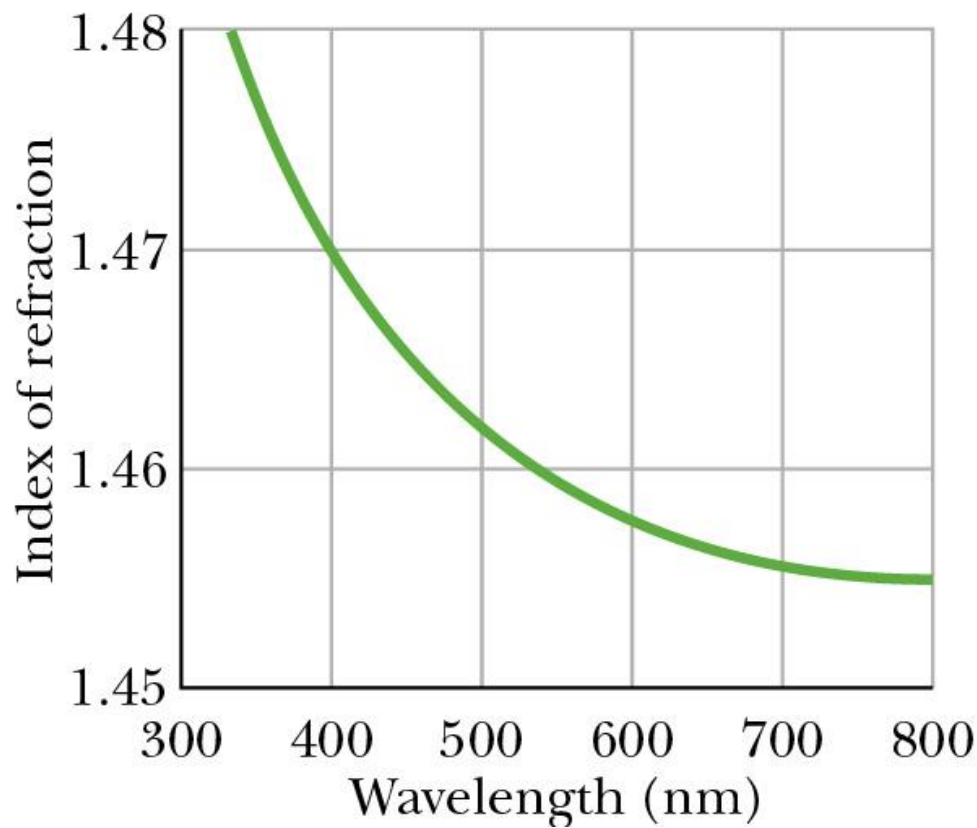


# Кое причинява миражите?



Топлият път причинява градиент на показателя на пречупване който се увеличава при увеличаване на разстоянието от пътя

**Дисперсия:** Показателя на пречупване на средата зависи от дължината на вълната. Това води до различни ъгли на пречупване за вълни с различни дължини и съответно до разлагане на бялата светлина. Различаваме нормална и аномална дисперсия.



$$u = v\lambda$$

$\lambda$  се променя когато средата се мени.

$v$  не се мени при промяна на средата.

На фигурата се наблюдава случай на **нормална** дисперсия. При увеличаване на  $n$  с нарастване на  $\lambda$  имаме **аномална** дисперсия

Wall

Equilateral prism  
dispersing sunlight  
late afternoon.

$$\sin \theta_{\text{refr}} = 0.866 n_{\lambda}$$

$n_{\lambda}$  се увеличава с честотата ( $\lambda$  намалява)

Синьото се пречупва повече от червеното

Shadow of Prism

Sunlight



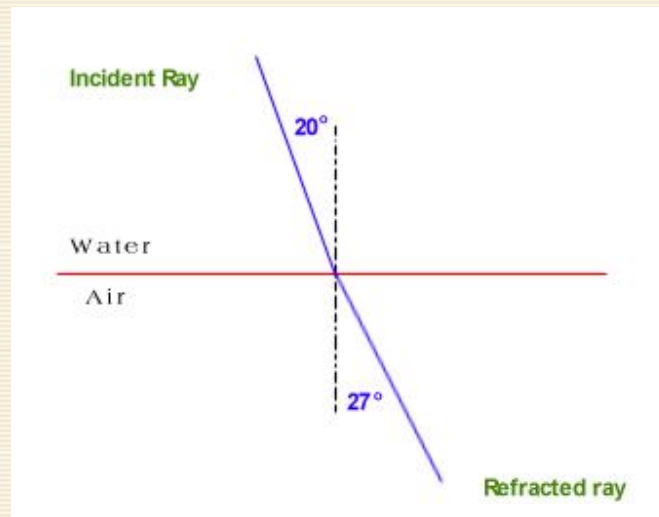
# Пълно вътрешно отражение

При увеличаване ъгъла на падане, стигаме до положение, при което пречупеният лъч се плъзга по разделителната повърхност.

По-нататъшно увеличение на ъгъла на падане - само отражение - пълно вътрешно отражение.

вода

въздух



Критичен ъгъл  $\alpha_{кр}$  :

$$\alpha_{кр} = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$

21

*Явлението, при което се наблюдава само отражение на светлината при преминаването ѝ от оптически по-плътна среда в оптически по-рядка среда*



## Пълно вътрешно отражение;

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$$

$$\sin(\theta_1) = \frac{n_2}{n_1} \sin(\theta_2)$$

Нека  $n_2 > n_1$ . Най-голямата стойност на  $\sin(\theta_2)$  е 1 ( $\theta_2 = 90^\circ$ ).  
Тогава:

$$\sin(\theta_1) = \frac{n_2}{n_1}.$$

Тази стойност на  $\theta_1$  е наречена критичен ъгъл,  $\theta_c$ . За всеки ъгъл по-голям от  $\theta_c$ , цялата паднала върху границата светлина се отразява.

## Пълно вътрешно отражение;

$$n_1 \sin(\alpha) = n_2 \sin(\gamma)$$

$$\sin(\alpha) = \frac{n_2}{n_1} \sin(\gamma)$$

Нека  $n_2 > n_1$ . Най-голямата стойност на  $\sin(\gamma)$  е 1. Тогава:

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

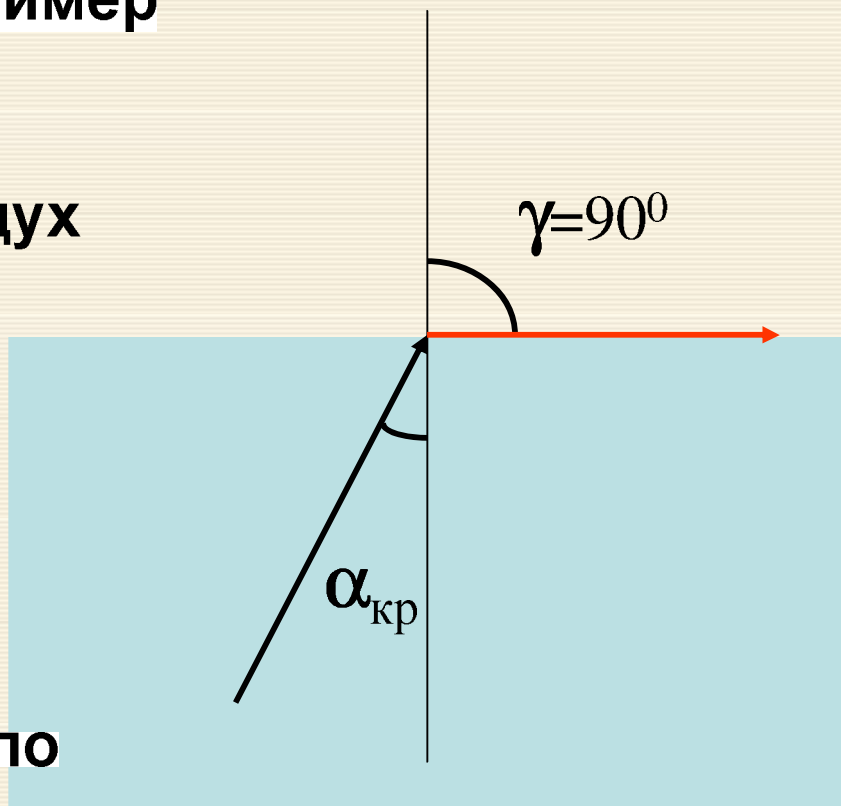
Тази стойност на  $\alpha$  е наречена критичен ъгъл,  $\alpha_{\text{кр}}$ . За всеки ъгъл по-голям от  $\alpha_{\text{кр}}$ , цялата паднала върху границата светлина се отразява.

# Пълно вътрешно отражение

Пример

въздух

СТЪКЛО



$$\alpha_{кр} = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$

21

Стъкло  $n=1,5$

Въздух  $n=1$

$$\alpha_{кр} = \arcsin \frac{1}{1,5} = 0,66$$

$$\alpha \approx 42^\circ$$

## Пример 2

При прехода на светлинните лъчи от стъкло във въздух ъгъла на падане е  $30^\circ$ . Да се намери ъгъла на пречупване. Колко е граничният ъгъл на падане при който настъпва пълно вътрешно отражение. Показателите на пречупване на стъклото и въздуха са съответно 1.6 и 1.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1}$$

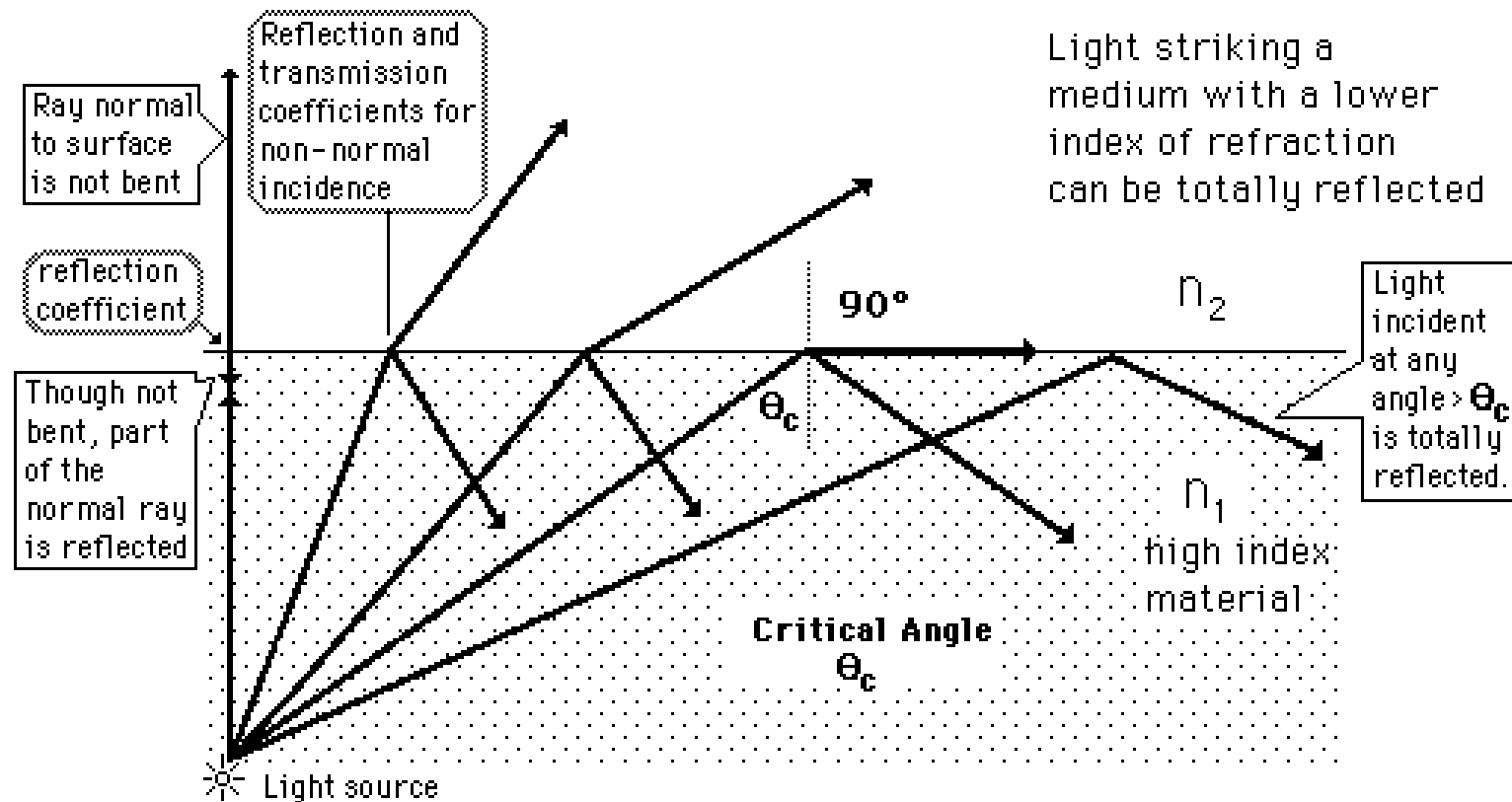
$$\sin \gamma = \frac{n_1}{n_2} \sin \alpha = 0.8$$

$$\gamma = 53.1^\circ$$

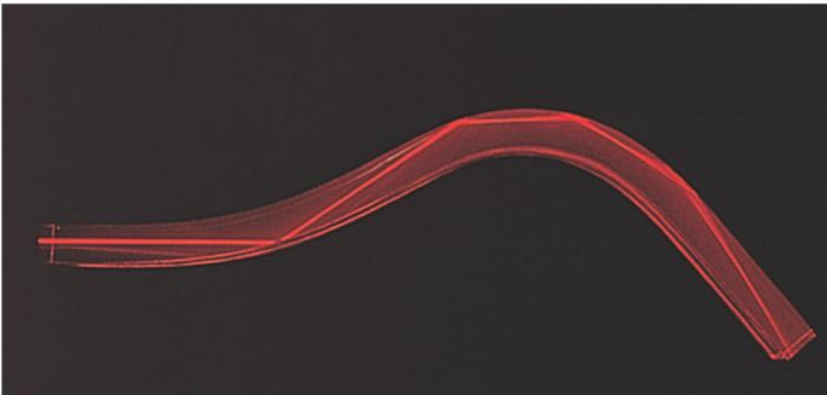
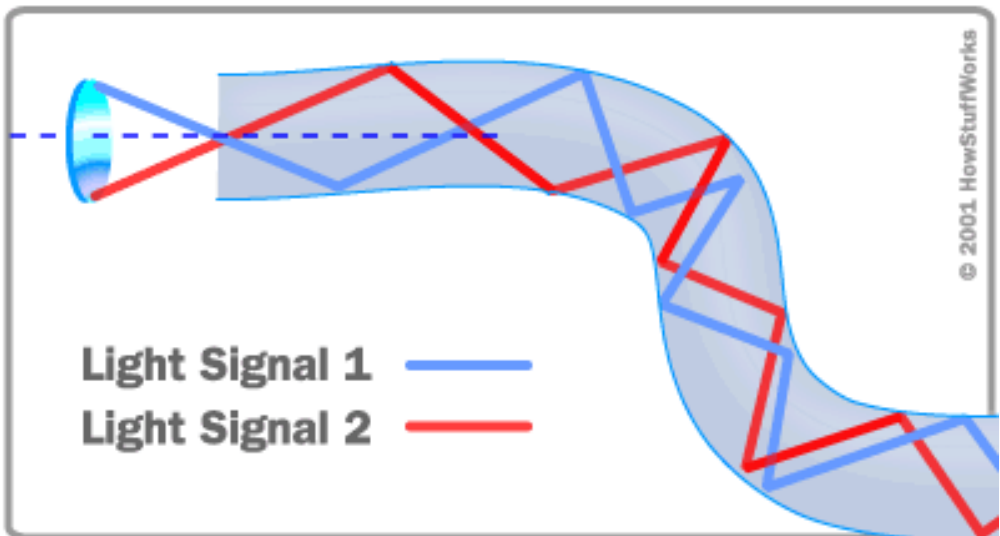
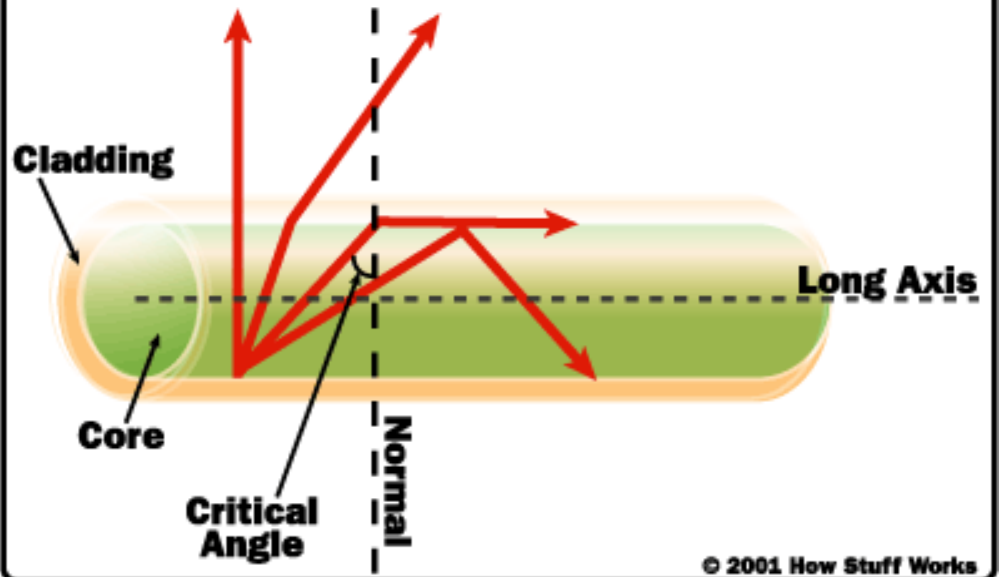
$$\sin \alpha_{\text{кр}} = \frac{n_2}{n_1} = 0.625 \text{ rad}$$

$$\alpha_{\text{кр}} = 38.7^\circ$$

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/totint.html>



## Fiber Optic Internal Reflection



## The Discrepant Event - Total Internal Reflection

