

## Φύση και διάδοση φωτός

## Η φύση του φωτός

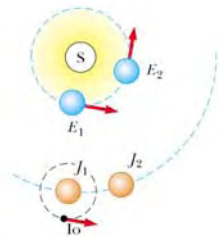
- Σωματιδιακή θεωρία (ανάκλαση, διάθλαση)
- Κυματική θεωρία *C. Huygens*: ανάκλαση, διάθλαση  
*F. Grimaldi*: περίθλαση  
*T. Young*: συμβολή φωτός  
*A. Fresnel*: συμβολή και περίθλαση φωτός
- Η/Μ θεωρία “Υψίσυχο η/μ κύμα” *Maxwell*  
Πειράματα *Hertz*
- Κβαντική ηλεκτρομαγνητική θεωρία  $E=hf$   
“Κβάντα φωτός”, *Planck*  
“Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο”, *Einstein*

Το φως έχει διττή υπόσταση

- Διάδοση: κυματική προσέγγιση
- Αλληλεπίδραση με ύλη: σωματιδιακή προσέγγιση

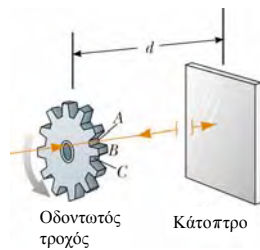
## Μετρήσεις της ταχύτητας του φωτός

Η μέθοδος του Roemer



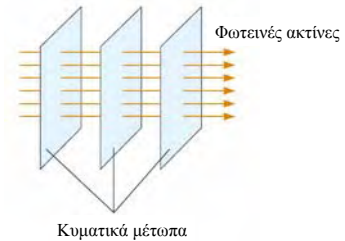
$$c > 2.3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Η μέθοδος του Fizeau



$$c = 3.1 \times 10^8 \text{ m/s}$$

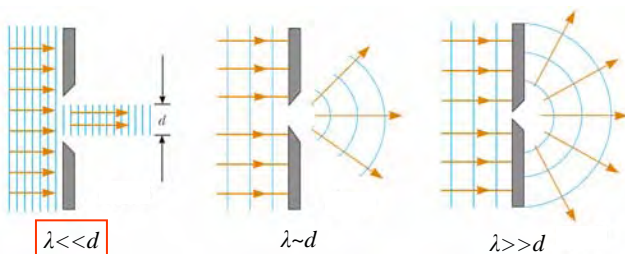
## Η προσέγγιση της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός (Ray approximation)



### Φωτεινή ακτίνα:

Η ευθεία γραμμή με κατεύθυνση αυτή που ακολουθεί το φως κατά την διάδοσή του (η κατεύθυνση ροής της ενέργειας συμπίπτει με της διάδοσης της κυματικής διαταραχής)

## Η προσέγγιση της ευθύγραμμης διάδοσης



Γεωμετρική Οπτική

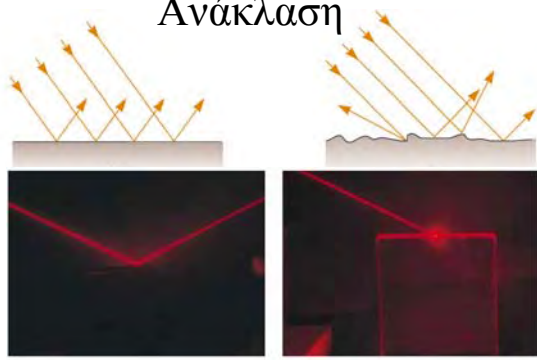
## Ανάκλαση και διάθλαση

Όταν μια φωτεινή ακτίνα που διαδίδεται σε ένα μέσο Α συναντήσει μια διαχωριστική επιφάνεια (που διαχωρίζει δύο μέσα Α και Β) τότε μέρος της αρχικής ακτίνας *ανακλάται* και μέρος *διαθλάται* στο μέσο Β.



Οι ευθείες που αντιστοιχούν στην ανακλώμενη (2) και την διαθλώμενη ακτίνα (3) κείνται στο *επίπεδο* που ορίζει η προσπίπτουσα (1) και η κάθετος (4) στην επιφάνεια.

## Ανάκλαση

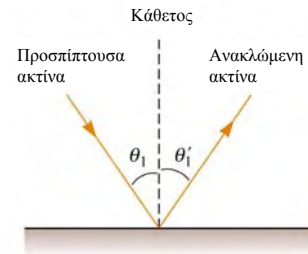


Κατοπτρική ανάκλαση

Διάχυση (διάχυτη ανάκλαση)

Πότε μια επιφάνεια με ατέλειες θα παίζει τον ρόλο του κατόπτρου:

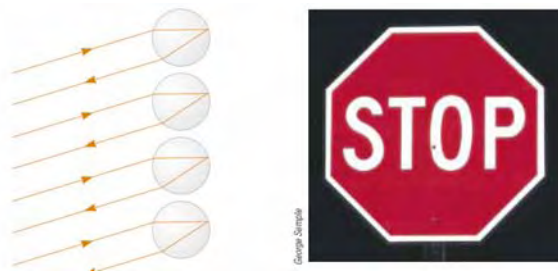
## Ανάκλαση



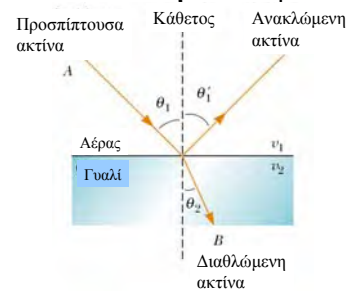
**Νόμος Ανάκλασης:** Η γωνία ανάκλασης είναι ίση με την γωνία πρόσπτωσης για όλα τα μήκη κύματος και οποιαδήποτε ζεύγος υλικών

$$\theta_1' = \theta_1$$

## Ανάδρομη ανάκλαση (retroreflection)



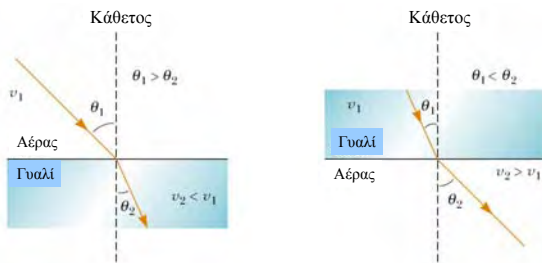
## Διάθλαση του φωτός



**Νόμος Διάθλασης- v. Snell:** Η γωνία διάθλασης εξαρτάται από τις οπτικές ιδιότητες των μέσων και την γωνία πρόσπτωσης

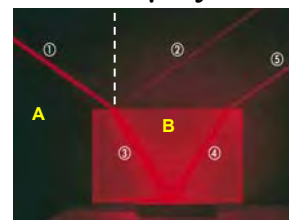
$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

## Διάθλαση του φωτός

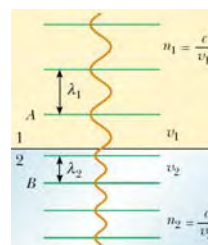
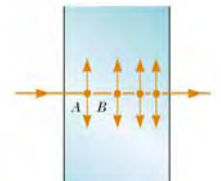


Η διαδρομή μιας φωτεινής ακτίνας η οποία προσπίπτει σε μια διαχωριστική επιφάνεια και διαθλάται είναι αντιστρέψιμη.

## Νόμος διάθλασης-Νόμος Snell



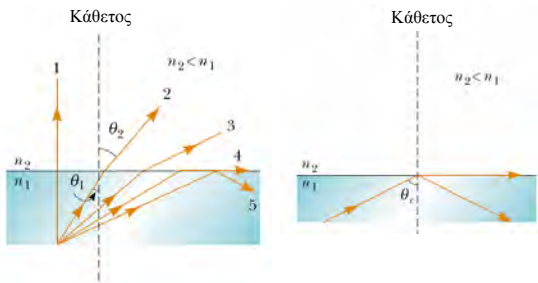
$$n = \frac{c}{v} > 1$$



$$v_1 = f\lambda_1 \quad \text{και} \quad v_2 = f\lambda_2, \quad \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

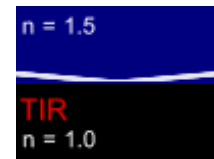
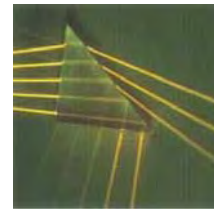
$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \boxed{n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2}$$

## Ολική εσωτερική ανάκλαση

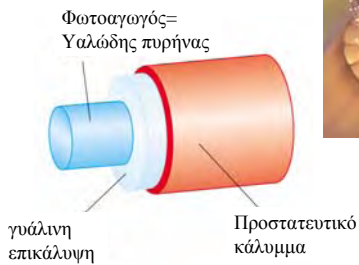
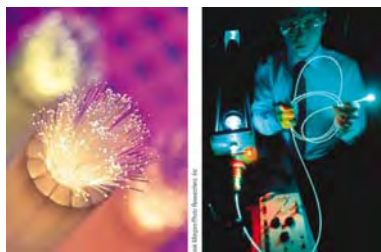
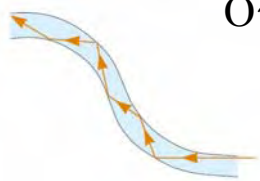


$$\sin \theta_{crit} = \frac{n_2}{n_1}$$

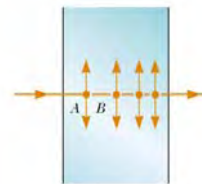
## Ολική εσωτερική ανάκλαση



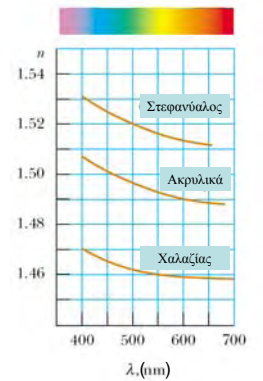
## Οπτικές ίνες



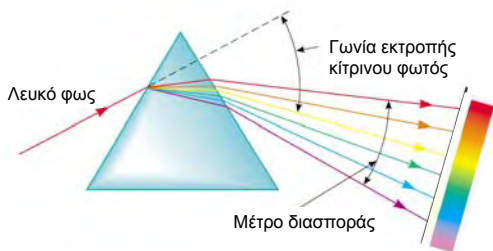
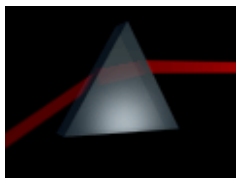
## Διασπορά (δισκεδασμός)



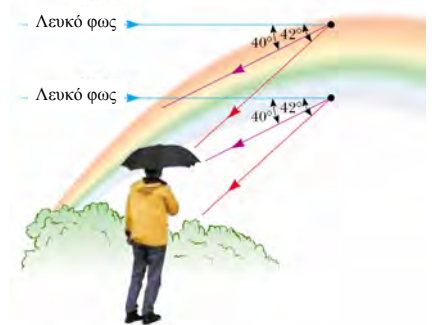
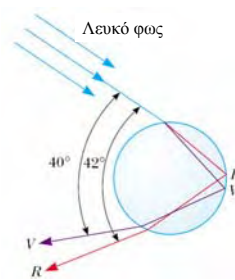
$$n = \frac{c}{v} > 1$$



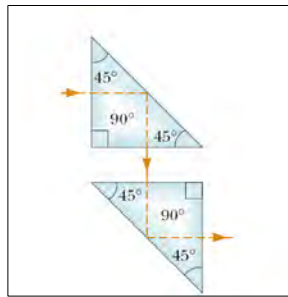
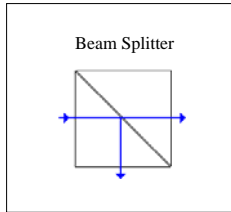
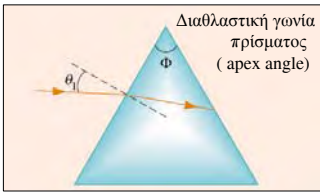
## Διασπορά και πρίσματα



## Διασπορά λευκού φωτός



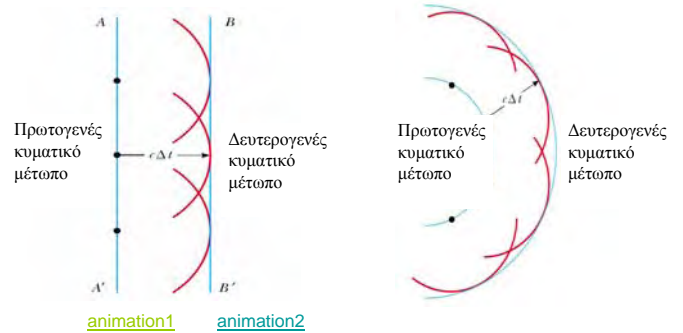
## Απλές εφαρμογές



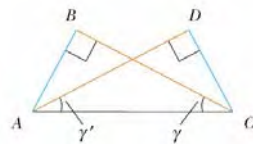
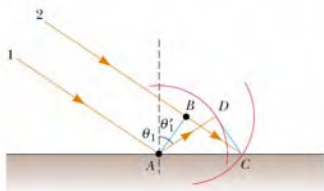
## Αρχή του Huygens



“Κάθε σημείο ενός κυματικού μέτωπου μπορεί να θεωρηθεί ως πηγή δευτερογενών σφαιρικών κυμάτων τα οποία διαδίδονται με την ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων στο μέσο. Το νέο κυματικό μέτωπο ορίζεται από την επιφάνεια που εφάπτεται στα κυματικά μέτωπα των δευτερογενών σφαιρικών κυμάτων”: Γεωμετρική ανακατασκευή θέσης κυματικού μέτωπου



## Εφαρμογή της αρχής του Huygens στην ανάκλαση



$$\cos \gamma = \frac{BC}{AC} \quad \text{και} \quad \cos \gamma' = \frac{AD}{AC}$$

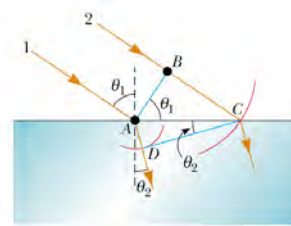
$$AD = BC = c \Delta t$$

$$\gamma = \gamma'$$

$$90^\circ - \theta_1 = 90^\circ - \theta_1'$$

$$\theta_1 = \theta_1'$$

## Εφαρμογή της αρχής του Huygens στην διάθλαση



$$\sin \theta_1 = \frac{BC}{AC} = \frac{v_1 \Delta t}{AC}$$

$$\sin \theta_2 = \frac{AD}{AC} = \frac{v_2 \Delta t}{AC}$$

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

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

## Επισκεφτείτε:

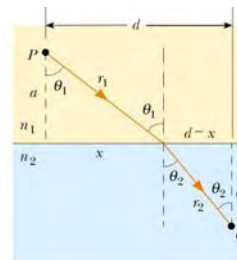
- <http://id.mind.net/~zona/mstm/physics/waves/propagation/huygens1.html>
- <http://id.mind.net/~zona/mstm/physics/waves/propagation/huygens2.html>
- <http://id.mind.net/~zona/mstm/physics/waves/propagation/huygens3.html>
- <http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/index.php?topic=16>

<http://physics.uwstout.edu/physapplets/a-city/physengl/huygensgl.htm>

## Αρχή του Fermat

Η διαδρομή που ακολουθεί μια φωτεινή ακτίνα μεταξύ δύο σημείων είναι εκείνη για την οποία απαιτείται ο μικρότερος δυνατός χρόνος

### Εφαρμογή της αρχής του Fermat στην διάθλαση



$$t = \frac{r_1}{v_1} + \frac{r_2}{v_2} = \frac{\sqrt{a^2 + x^2}}{c/n_1} + \frac{\sqrt{b^2 + (d-x)^2}}{c/n_2}$$

$$\begin{aligned} \frac{dt}{dx} &= \frac{n_1}{c} \frac{d}{dx} \sqrt{a^2 + x^2} + \frac{n_2}{c} \frac{d}{dx} \sqrt{b^2 + (d-x)^2} \\ &= \frac{n_1}{c} \left(\frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}}\right) + \frac{n_2}{c} \left(\frac{-1}{\sqrt{b^2 + (d-x)^2}}\right) \\ &= \frac{n_1 x}{c(a^2 + x^2)^{1/2}} - \frac{n_2 (d-x)}{c[b^2 + (d-x)^2]^{1/2}} = 0 \end{aligned}$$

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

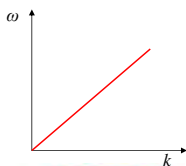
## Η σχέση διασποράς $\omega = \omega(k)$



- Μη διασκορπιζόμενα κύματα-Μη διασκορπιστικά Υλικά:  $\omega = \text{σταθ.}k$

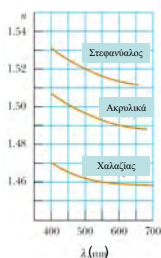
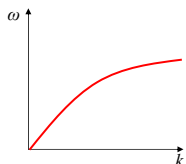
- ΗΜ κύματα στο κενό:  $\omega = ck$

- Αρμονικό εγκάρσιο κύμα σε νήμα:  $\omega = \sqrt{\frac{T}{\mu}}k$ ,



- Διασκορπιζόμενα κύματα- Διασκορπιστικά Υλικά:  $\omega = \omega(k) \neq \text{σταθ.}k$

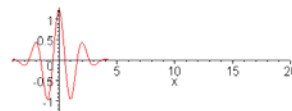
- ΗΜ κύματα στο πρίσμα:  $\omega = v(k)k$



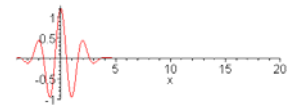
## Γιατί «διασπορά»?

Όταν ένας παλμός διαδίδεται σε ένα διασκορπιστικό υλικό κάθε αρμονικό κύμα-συνιστώσα έχει και άλλη ταχύτητα διάδοσης με συνέπεια την διασπορά του, την συνεχή μεταβολή του σχήματός του!

$$\omega = \frac{c_s k}{\sqrt{1 + \left(\frac{k}{k_0}\right)^2}}$$

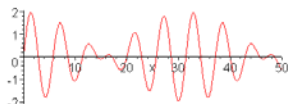


$$\omega = c_s k$$

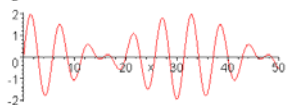


## Γιατί «διασπορά»?

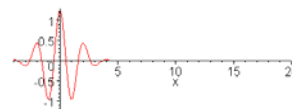
$$\sin(x - t) + \sin(1.2x - 1.1t)$$



$$\sin(x - t) + \sin(1.2x - 1.2t)$$



## Η ταχύτητα ομάδας



- Η ταχύτητα διάδοσης του παλμού σαν «σύνολο» δίνεται από την «ταχύτητα ομάδας»

Η ταχύτητα ομάδας είναι η ταχύτητα με την οποία διαδίδονται στον χώρο οι μεταβολές της μορφής του πλάτους κύματος (διαμόρφωσης κύματος)

$$v_g = \frac{d\omega(k)}{dk}$$