

Γεωμετρική οπτική – Νόμοι ανάκλασης και διάθλασης

- Γεωμετρική οπτική
- Αρχή του Fermat
- Νόμος ανάκλασης
- Νόμος διάθλασης
- Δείκτης διάθλασης
- Η έννοια του οπτικού δρόμου

Φύση του φωτός (κύμα ή σωματίο)

Για τη μελέτη της συμπεριφοράς του φωτός απαιτείται η εισαγωγή κριτηρίων ως προς τα μεγέθη που περιγράφουν την διάδοση και την αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη.

Κριτήρια (τα μεγέθη που υπεισέρχονται στα κριτήρια) που καθορίζουν την συμπεριφορά του φωτός

Μ Ε Γ Ε Θ Η —————→

1. **Μήκος κύματος λ** (κυματικό μέγεθος)
Σύγκριση με διαστάσεις d της χρησιμοποιούμενης «συσκευής»
2. **Ενέργεια φωτονίου $E (=h \nu)$** (σωματιδιακό μέγεθος)
Σύγκριση με ενεργειακή ευαισθησία $E_{\text{ευαισθησία}}$ της χρησιμοποιούμενης «συσκευής»

Γενική περιγραφή της συμπεριφοράς του φωτός μέσω:

- Γεωμετρικής Οπτικής
- Κυματικής εικόνας του φωτός
- Σωματιδιακής εικόνας του φωτός

1. Κριτήρια Γεωμετρικής Οπτικής.

$$\lambda \ll d$$

$$E_{\text{φωτονίου}} < E_{\text{ευαισθησία}}$$

Σημαντικές
τεχνικές
εφαρμογές

Η έννοια της ακτίνας του φωτός

Πλήρης περιγραφή
των φαινομένων της
ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ
ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

2. Κριτήρια Κυματικής Οπτικής.

$$\lambda \approx d$$

$$E_{\text{φωτονίου}} \ll E_{\text{ευαισθησία}}$$

Πλήρης περιγραφή των φαινομένων **της**
ΣΥΜΒΟΛΗΣ & ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ
καθώς και της **ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ**
ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

Οι δύο αυτοί κλάδοι της Γεωμετρικής και Κυματικής Οπτικής περιγράφουν τα φαινόμενα με όρους της **Κλασσικής Φυσικής**

3. Κριτήρια Σωματιδιακής εικόνας του Φωτός

$$\lambda \lll d$$

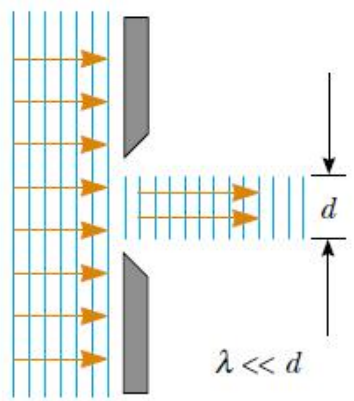
$$E_{\text{φωτονίου}} \gg E_{\text{ευαισθησία}}$$

Πλήρης περιγραφή των
φαινομένων:

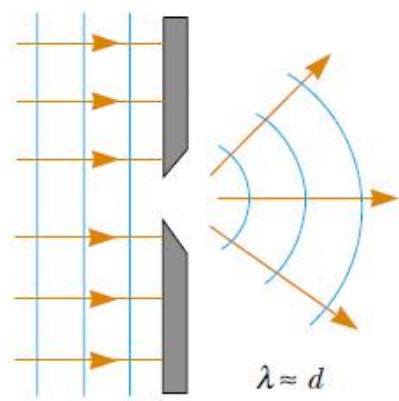
Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Φαινόμενο Compton κ.α.

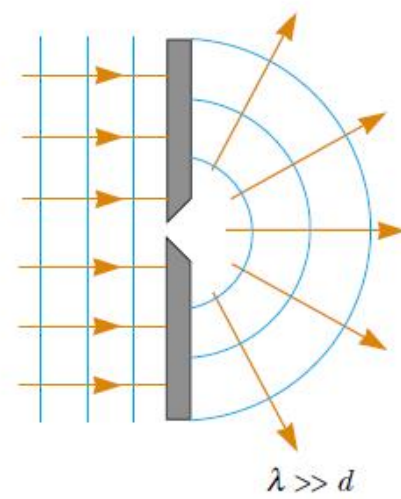
Ο τρίτος κλάδος αναφέρεται στην περιγραφή φαινομένων με όρους της **Κβαντικής Φυσικής**.



(a)



(b)



(c)

Η αρχή του Fermat – γεωμετρική οπτική

Η αρχή του Fermat (όπως διατυπώθηκε αρχικά) ορίζει ότι «όταν το φως διαδίδεται ανάμεσα σε δύο σημεία στο χώρο, ακολουθεί τη διαδρομή που απαιτεί τον ελάχιστο χρόνο, σε σύγκριση με κοντινές διαδρομές.

Στη σύγχρονη διατύπωση της αρχής του Fermat ο όρος «έλαχιστος χρόνος» έχει αντικατασταθεί από το ότι ο χρόνος είναι στάσιμος ως προς μικρές μεταβολές της διαδρομής (δηλ. μεταβολές στη διαδρομή προκαλούν μόνο δεύτερης τάξης μεταβολές στο χρόνο).

Η αρχή του Fermat αποτελεί μία γενίκευση της αρχής που είχε διατυπώσει ο Ήρωνας της Αλεξάνδρειας, ότι το φως, διαδιδόμενο ανάμεσα σε δύο σημεία, ακολουθεί την ελάχιστη διαδρομή. Με βάση αυτή τη διατύπωση, προκύπτει άμεσα η ευθύγραμμη διάδοση του φωτός σε ομοιογενές μέσο. Επίσης προκύπτουν οι νόμοι της ανάκλασης και της διάθλασης.

Η πρώτη προφανής συνέπεια της αρχής του Fermat είναι ότι το φως διαδίδεται ευθύγραμμα σε ένα διαφανές ομοιογενές μέσο (ή στο κενό).

Απόδειξη του νόμου της ανάκλασης με βάση την αρχή του Fermat

$$AP = \sqrt{h_1^2 + x^2}, BP = \sqrt{h_2^2 + (l-x)^2}$$

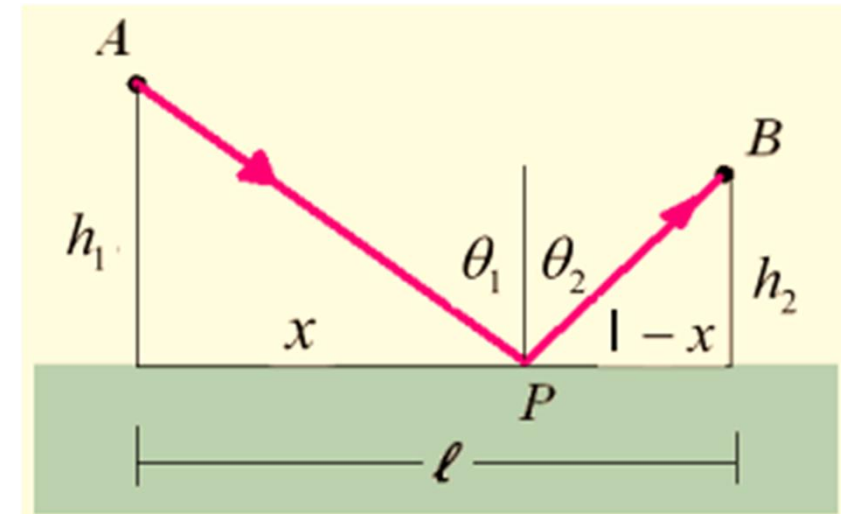
$$t_{AP} = \frac{\sqrt{h_1^2 + x^2}}{c}, t_{BP} = \frac{\sqrt{h_2^2 + (l-x)^2}}{c}$$

$$t_{AB} = \frac{\sqrt{h_1^2 + x^2} + \sqrt{h_2^2 + (l-x)^2}}{c}$$

$$0 = \frac{dt_{AB}}{dx} = \frac{x}{c\sqrt{x^2 + h_1^2}} + \frac{-(l-x)}{c\sqrt{(l-x)^2 + h_2^2}} \Rightarrow \frac{x}{\sqrt{x^2 + h_1^2}} = \frac{(l-x)}{\sqrt{(l-x)^2 + h_2^2}} \Rightarrow$$

$$\sin\theta_1 = \sin\theta_2$$

$$\Rightarrow \theta_1 = \theta_2 \quad (\theta_1, \theta_2 \leq \pi/2)$$



Η προσπίπτουσα και η ανακλώμενη είναι στο ίδιο επίπεδο (απόδειξη σε λίγο)

Η έννοια του δείκτη διάθλασης

Ο δείκτης διάθλασης είναι μία αδιάστατη ποσότητα που ορίζεται ως ο λόγος της ταχύτητας του φωτός στο κενό c , προς τη ταχύτητα του φωτός σε ένα μέσο v (ταχύτητα φάσης)

$$n = c/v$$

Table 33-1

Some Indexes of Refraction^a

Medium	Index	Medium	Index
Vacuum	Exactly 1	Typical crown glass	1.52
Air (STP) ^b	1.00029	Sodium chloride	1.54
Water (20°C)	1.33	Polystyrene	1.55
Acetone	1.36	Carbon disulfide	1.63
Ethyl alcohol	1.36	Heavy flint glass	1.65
Sugar solution (30%)	1.38	Sapphire	1.77
Fused quartz	1.46	Heaviest flint glass	1.89
Sugar solution (80%)	1.49	Diamond	2.42

^aFor a wavelength of 589 nm (yellow sodium light).

^bSTP means “standard temperature (0°C) and pressure (1 atm).”

Απόδειξη του νόμου της διάθλασης

$$AP = \sqrt{h_1^2 + x^2}, BP = \sqrt{h_2^2 + (l-x)^2}$$

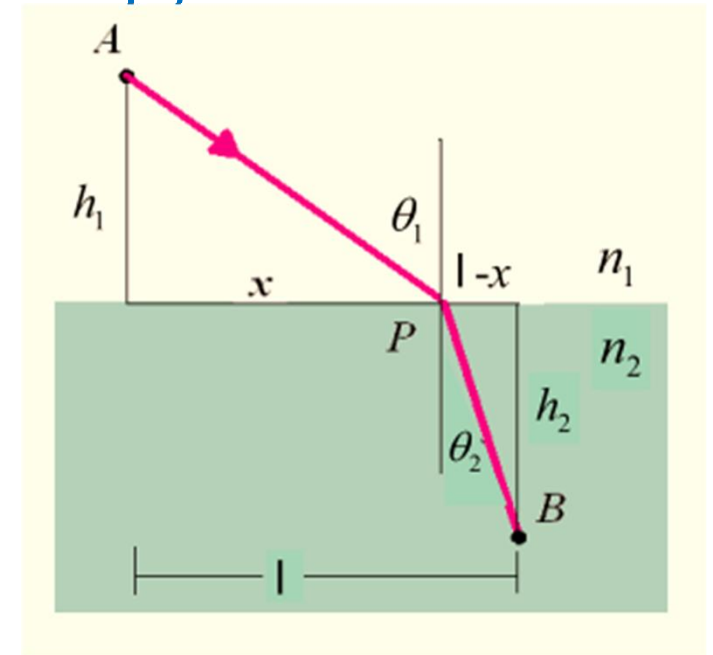
$$t_{AP} = \frac{\sqrt{h_1^2 + x^2}}{c/n_1}, t_{BP} = \frac{\sqrt{h_2^2 + (l-x)^2}}{c/n_2}$$

$$t_{AB} = \frac{n_1 \sqrt{h_1^2 + x^2} + n_2 \sqrt{h_2^2 + (l-x)^2}}{c}$$

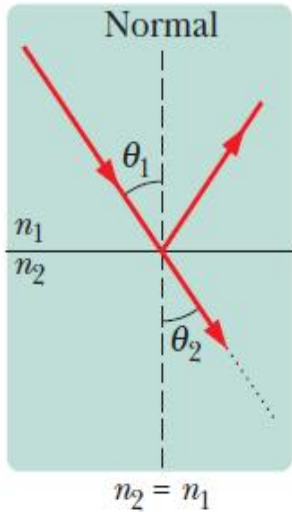
$$0 = \frac{dt_{AB}}{dx} = \frac{n_1 x}{c \sqrt{x^2 + h_1^2}} + \frac{-n_2 (l-x)}{c \sqrt{(l-x)^2 + h_2^2}} \Rightarrow \frac{n_1 x}{\sqrt{x^2 + h_1^2}} = \frac{n_2 (l-x)}{\sqrt{(l-x)^2 + h_2^2}} \Rightarrow$$

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (\theta_1, \theta_2 \leq \pi/2)$$

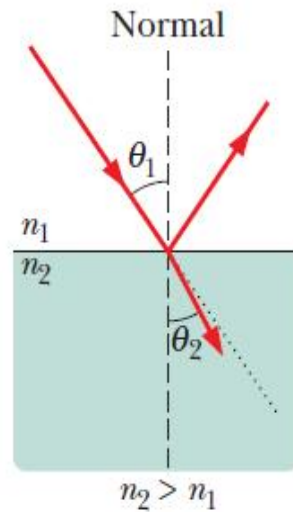
Νόμος του Snell



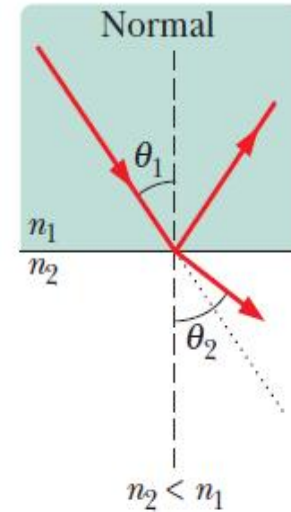
Η προσπίπτουσα και η ανακλώμενη είναι στο ίδιο επίπεδο.



Αν οι δείκτες διάθλασης είναι ίσοι, δεν υπάρχει αλλαγή διεύθυνσης της διαθλώμενης ακτίνας

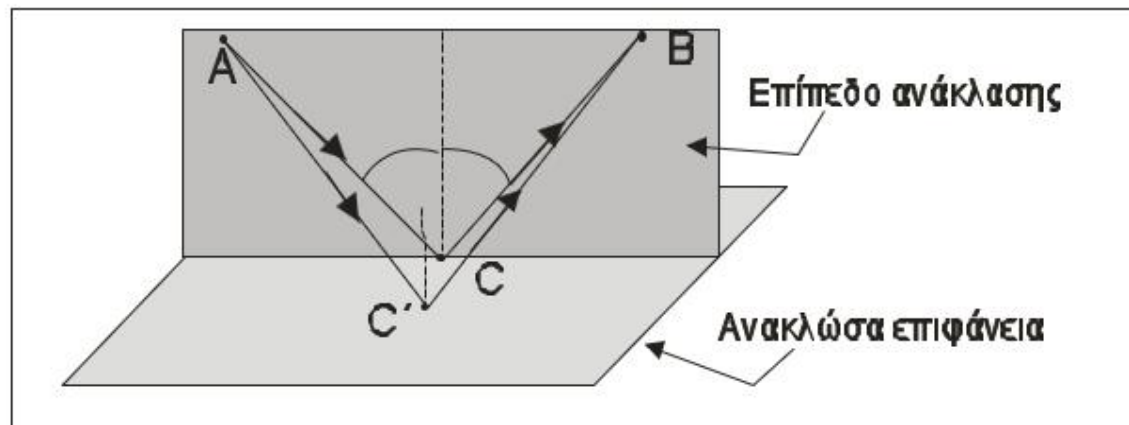


Αν $n_1 < n_2$, η διαθλώμενη πλησιάζει προς τη κάθετο



Αν $n_1 > n_2$, η διαθλώμενη απομακρύνεται προς τη κάθετο

Χρησιμοποιώντας την αρχή του Fermat, μπορούμε να δείξουμε ότι η προσπίπτουσα ακτίνα, η ανακλώμενη ακτίνα και η κάθετη στο σημείο πρόσπτωσης στην ανακλώσα επιφάνεια κείνται στο ίδιο επίπεδο.



Το επίπεδο ACB είναι κάθετο στην ανακλώσα επιφάνεια.

Αν η ανάκλαση γίνει σε οποιοδήποτε άλλο σημείο C' έξω από το επίπεδο ACB

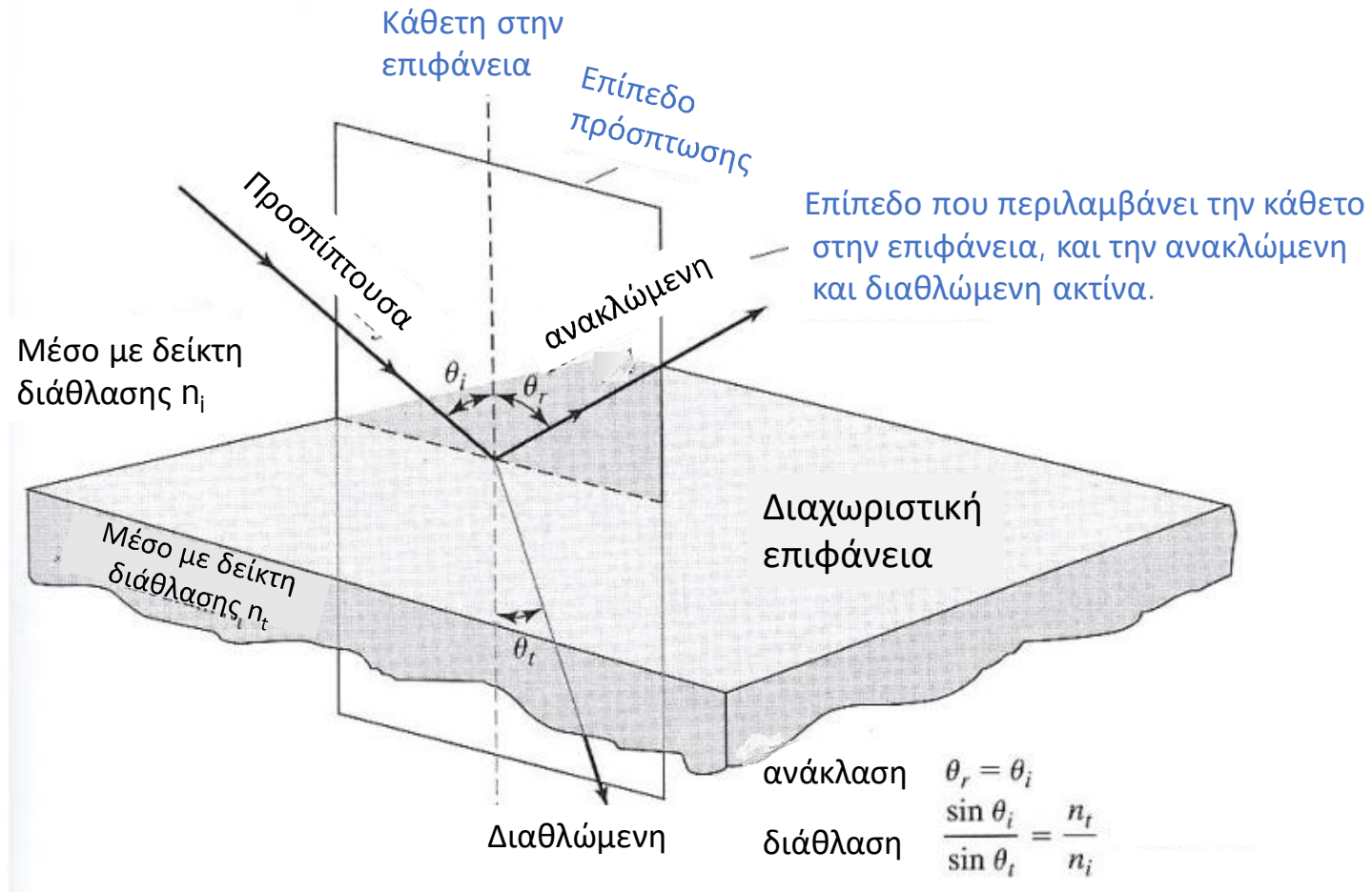
($\angle ACC' = 90^\circ$) θα έχουμε: $AC' > AC$

Ομοίως επειδή $\angle BCC' = 90^\circ$, θα έχουμε $BC' > BC$

Οπότε: $AC' + BC' > AC + BC$. Επειδή το φως διαδίδεται στο ίδιο μέσο με την ίδια ταχύτητα, αυτό σημαίνει $t_{AC'B} > t_{ACB}$, κάτι που αντίκειται στην αρχή του Fermat.

Με τον ίδιο τρόπο αποδεικνύεται ότι και η διαθλώμενη κείται στο επίπεδο πρόσπτωσης δηλ. το επίπεδο που περιλαμβάνει τη προσπίπτουσα και την κάθετη στην επιφάνεια.

Τελικά, η προσπίπτουσα, η ανακλώμενη και η διαθλώμενη ακτίνα κείνται στο ίδιο επίπεδο.

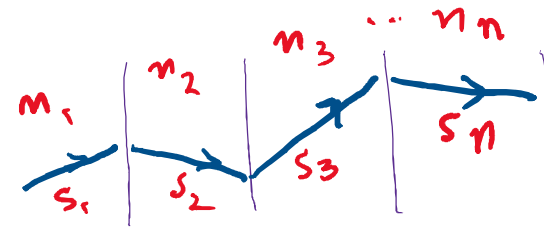


Η έννοια του οπτικού δρόμου

για διαστήματα: $S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_n$

διανυόμενα με ταχύτητες: $v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_n$

σε χρόνους: $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_n$



Ο ολικός χρόνος είναι:
$$t_{ολ} = \sum_{i=1}^n t_i = \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{v_i} = \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{c/n_i} = \frac{1}{c} \sum_{i=1}^n n_i S_i$$

Η παράσταση $\sum_{i=1}^n n_i S_i$ ορίζεται σαν ΟΠΤΙΚΟΣ ΔΡΟΜΟΣ (ΟΔ)

Για συνεχώς μεταβαλλόμενο δείκτη διάθλασης $n=n(S)$ (π.χ. η περίπτωση διάδοσης του φωτός στην ατμόσφαιρα) η γενικότερη έκφραση του ΟΔ γίνεται:

$$\text{ΟΔ} = \int_A^B n(S) dS$$