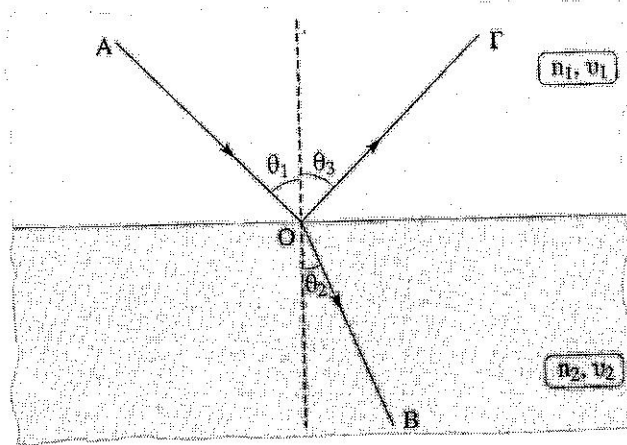


διερχόμενης έντασης προς την προσπίπτουσα ονομάζεται **διαπερατότητα της επιφάνειας**.

Έστω τώρα ότι το φως διαδίδεται από μέσο με δείκτη διάθλασης n_1 σε μέσο με δείκτη διάθλασης n_2 και ότι η ανακλαστικότητα και η διαπερατότητα της διεπιφάνειας είναι τέτοιες ώστε μέρος του φωτός να ανακλάται και μέρος να διαθλάται (εικ. 4.2).

Για την πορεία των φωτεινών ακτίνων ισχύει η αρχή του Fermat και η αρχή της αντίστροφης πορείας του φωτός. Σύμφωνα με την **αρχή του Fermat**, η διαδρομή που ακολουθεί το φως για να πάει από ένα σημείο σε ένα άλλο είναι εκείνη που αντιστοιχεί στο μικρότερο χρόνο διάδοσης. Σύμφωνα με την **αρχή της αντίστροφης πορείας**, το φως ακολουθεί τον ίδιο δρόμο μεταξύ δυο σημείων διάδοσης ανεξάρτητα από την κατεύθυνση διάδοσης. Είναι προφανές ότι η τελευταία πρόταση είναι συνέπεια της αρχής του Fermat. Στην εικόνα 4.2 μία ακτίνα φωτός η ΑΟ προσπίπτει στη διαχωριστική επίπεδη επιφάνεια και χωρίζεται σε δύο, την ακτίνα ΟΓ που ανακλάται και την ΟΒ που διαθλάται. Η γωνία θ_1 που σχηματίζεται από την ακτίνα και την κάθετη στο σημείο πρόσπτωσης ονομάζεται **γωνία πρόσπτωσης** και οι θ_3 και θ_2 ονομάζονται **γωνία ανάκλασης** και **γωνία διάθλασης** αντίστοιχα.



Εικ. 4.2. Πρόσπτωση φωτεινής ακτίνας σε επίπεδη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων. Ένα μέρος του φωτός ανακλάται και ένα μέρος διαθλάται.

Για την ανάκλαση ισχύουν οι ιδιότητες:

- α. Η προσπίπτουσα και η ανακλώμενη ακτίνα βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο με την κάθετη της επιφάνειας στο σημείο πρόσπτωσης.

β. Η γωνία πρόσπτωσης ισούται με τη γωνία ανάκλασης, δηλαδή $\theta_1 = \theta_3$.

Για τη διάθλαση ισχύουν οι ιδιότητες:

- α. Η προσπίπτουσα και η διαθλώμενη ακτίνα βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο με την κάθετη της επιφάνειας στο σημείο πρόσπτωσης.
- β. Το γινόμενο του δείκτη διάθλασης του πρώτου μέσου επί το ημίτονο της γωνίας πρόσπτωσης ισούται με το γινόμενο του δείκτη διάθλασης του δεύτερου μέσου επί το ημίτονο της γωνίας διάθλασης, δηλαδή

$$n_1 \eta \mu \theta_1 = n_2 \eta \mu \theta_2 . \quad (4.4)$$

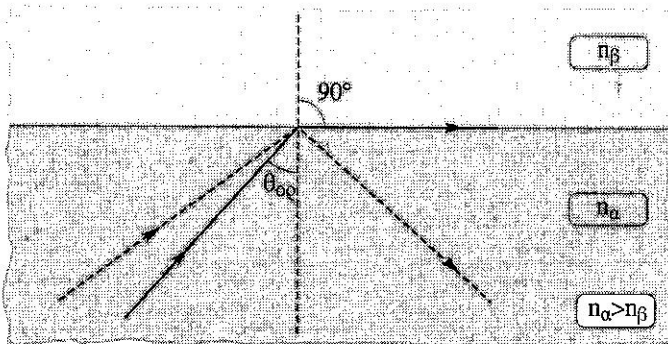
Εύκολα προκύπτει η σχέση

$$\frac{\eta \mu \theta_1}{\eta \mu \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}, \quad (4.5)$$

όπου v_1, v_2 οι ταχύτητες του φωτός στα δύο μέσα.

Το μέγεθος n_{21} ονομάζεται **σχετικός δείκτης διάθλασης** του δεύτερου μέσου ως προς το πρώτο. Αν ο δείκτης διάθλασης του δεύτερου μέσου είναι μικρότερος από του πρώτου, προκύπτει εύκολα από τη σχέση (4.5) ότι, υπάρχει μία γωνία πρόσπτωσης για την οποία η γωνία διάθλασης γίνεται 90° και ότι για γωνία μεγαλύτερη από τη γωνία αυτή το φως υφίσταται ολική ανάκλαση στη διαχωριστική επιφάνεια και παραμένει στο πρώτο μέσο. Η γωνία αυτή ονομάζεται **ορική γωνία**.

Το φαινόμενο της ολικής ανάκλασης και η ύπαρξη ορικής γωνίας παρουσιάζονται στο σχήμα της εικόνας 4.3.



Εικ. 4.3. Ακτίνα με γωνία πρόσπτωσης ίση με την ορική γωνία διαθλάται με γωνία 90° (συνεχής γραμμή). Ακτίνα με γωνία πρόσπτωσης μεγαλύτερη από την ορική γωνία υφίσταται ολική ανάκλαση (διακεκομμένη γραμμή). Το φως διαδίδεται από οπτικώς πυκνότερο σε οπτικώς αραιότερο μέσο.

Το φως διαδίδεται από οπτικώς πυκνότερο σε οπτικώς αραιότερο μέσο δηλαδή, ο δείκτης διάθλασης του μέσου μέσα στο οποίο συμβαίνει ολική ανάκλαση είναι μεγαλύτερος από αυτόν του άλλου μέσου.

Η τιμή της οριζικής γωνίας προσδιορίζεται με τη βοήθεια της σχέσης (4.4) που για την περίπτωση της εικόνας 4.3 παίρνει τη μορφή

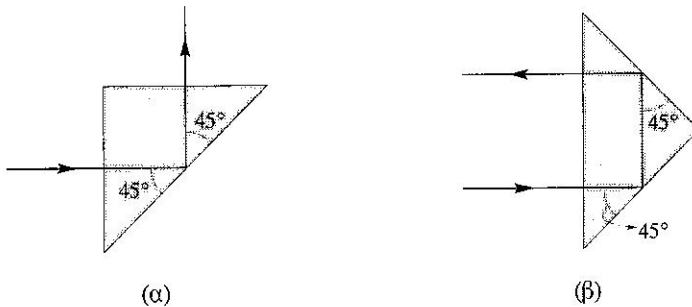
$$n_{\alpha} \eta\mu\theta_{\text{ορ}} = n_{\beta} \eta\mu 90 = n_{\beta} . \quad (4.6)$$

Αν το δεύτερο μέσο είναι ο αέρας, $n_{\beta}=1$ και η σχέση γίνεται

$$\eta\mu\theta_{\text{ορ}} = \frac{1}{n} . \quad (4.7)$$

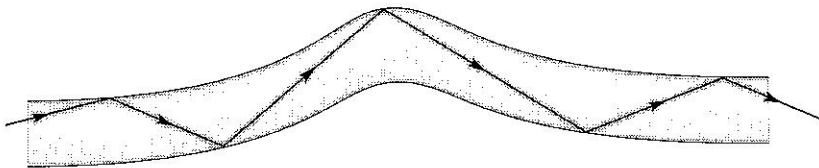
Το γυαλί έχει $n=1,5$ οπότε $\theta_{\text{ορ}}=41^{\circ}$.

Το φαινόμενο της ολικής ανάκλασης παρατηρείται σε ορθογώνια γυάλινα πρίσματα εκτελώντας τα πειράματα της εικόνας 4.4.



Εικ. 4.4. α) Στροφή διεύθυνσης διάδοσης κατά 90° , β) Αναστροφή πορείας ακτίνας.

Μία σύγχρονη εφαρμογή του φαινομένου αυτού αφορά τις **οπτικές ίνες** που είναι λεπτοί σωλήνες σταθερής διαμέτρου από διαφανές υλικό. Το φως διαδίδεται μέσα από αυτούς, υφιστάμενο πολλαπλές ολικές ανακλάσεις και εξέρχεται από το άλλο άκρο, όπως στο σχήμα της εικόνας 4.5.



Εικ. 4.5. Πολλαπλή ολική ανάκλαση ακτίνας μέσα σε οπτική ίνα.

Με μία τέτοια ίνα μπορούμε να φωτίσουμε μία πολύ μικρή περιοχή και με μία άλλη να την παρατηρήσουμε. Μία παρόμοια διάταξη χρησιμοποιείται για την ενδοσκόπηση των οργάνισμών. Οι οπτικές ίνες βρίσκουν σήμερα μεγάλη εφαρμογή στη μικροηλεκτρονική ως γενικοί κυματοαγωγοί ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

(4.6)

(4.7)

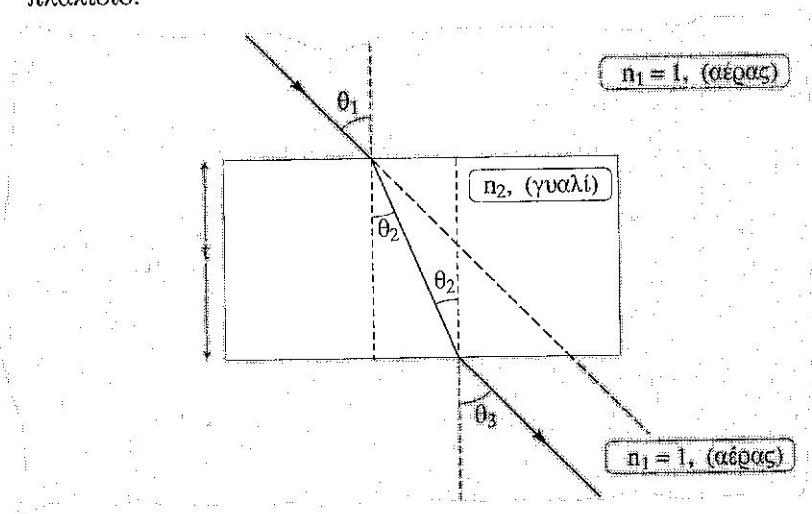
Παραδείγματα

1. Μία φωτεινή ακτίνα που διαδίδεται στον αέρα εισέρχεται στο νερό με $n=1,33$. Αν η γωνία πρόσπτωσης είναι $\theta_1=30^\circ$, να υπολογιστούν οι γωνίες ανάκλασης και διάθλασης.
 Η γωνία ανάκλασης είναι ίση με τη γωνία πρόσπτωσης, άρα $\theta_1=\theta_3=30^\circ$.
 Για τη γωνία διάθλασης, από τη σχέση (4.5) έχουμε:

$$\frac{\eta\mu\theta_1}{\eta\mu\theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = 1,33$$

$$\eta\mu\theta_2 = \frac{\eta\mu 30^\circ}{1,33} = 0,375 \quad \text{και} \quad \theta_2 = 22^\circ.$$

2. Μία φωτεινή ακτίνα που διαδίδεται στον αέρα εισέρχεται σε ένα γυάλινο πλακίδιο πάχους t και δείκτη διάθλασης n_2 . Αν η γωνία πρόσπτωσης είναι θ_1 , πόση είναι η γωνία εξόδου της διερχόμενης ακτίνας από το πλακίδιο.



Στην επιφάνεια εισόδου της ακτίνας στο πλακίδιο, από τη σχέση (4.5) έχουμε:

$$n_1 \eta\mu\theta_1 = n_2 \eta\mu\theta_2 = \eta\mu\theta_1.$$

Στην επιφάνεια εξόδου, από την ίδια σχέση έχουμε:

$$n_2 \eta\mu\theta_2 = n_1 \eta\mu\theta_3 = \eta\mu\theta_3$$

Επομένως, $\eta\mu\theta_1 = \eta\mu\theta_3$ ή για τη μικρότερη γωνία $\theta_1 = \theta_3$.

Βλέπουμε λοιπόν ότι η παρεμβολή ενός επίπεδου γυάλινου πλακιδίου στην πορεία μιας φωτεινής ακτίνας στον αέρα, έχει ως αποτέλεσμα την παράλληλη μετατόπιση της ακτίνας κατά τη διεύθυνση διάδοσης. Η μετατόπιση αυτή εξαρτάται από το πάχος του πλακιδίου.