

ΔΙΑΘΛΑΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

8.1 Διάθλαση του φωτός

Η θάλασσα ή η πισίνα φαίνονται πιο ρηχές απ' όσο είναι στην πραγματικότητα. Το μισοβυθισμένο κουτάλι φαίνεται να λυγίζει στην επιφάνεια του νερού (εικόνα 8.1). Πώς θα μπορούσαμε να ερμηνεύσουμε τις παραπάνω παρατηρήσεις;

Για να περιγράψουμε φαινόμενα όπως τα παραπάνω στη γλώσσα της Φυσικής θα μελετήσουμε πώς διαδίδεται μια λεπτή δέσμη φωτός όταν περνά από ένα διαφανές σώμα σε άλλο, για παράδειγμα από τον αέρα στο νερό ή στο γυαλί.

Το φως μέσα στην ύλη: διάθλαση

Αν παρατηρήσουμε προσεκτικά τη διάδοση μιας λεπτής δέσμης φωτός από τον αέρα στο γυαλί, διαπιστώνουμε ότι ένα μέρος από το φως της προσπίπτουσας δέσμης ανακλάται και ένα μέρος εισέρχεται στο γυαλί ακολουθώντας διαφορετική διεύθυνση από την προσπίπτουσα (εικόνα 8.2). Το ίδιο φαινόμενο παρατηρούμε όταν φως διαδίδεται από τον αέρα στο νερό και σε κάθε διαφανές σώμα.

Γνωρίζουμε ότι η ταχύτητα του φωτός στο νερό, στο γυαλί κ.α. είναι μικρότερη από την ταχύτητά του στον αέρα. Λέμε ότι αυτά τα υλικά (γυαλί, νερό) είναι **οπτικά πυκνότερα** από τον αέρα. Όταν το φως περνά από ένα διαφανές υλικό σε ένα άλλο διαφανές υλικό, στο οποίο διαδίδεται με διαφορετική ταχύτητα, η διεύθυνση διάδοσής του αλλάζει. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται **διάθλαση**. Στο 5ο κεφάλαιο είδαμε ότι το ίδιο συμβαίνει και με ένα μηχανικό κύμα όταν περνά από ένα μέσο σε άλλο στο οποίο διαδίδεται με διαφορετική ταχύτητα. Δηλαδή το φως και τα μηχανικά κύματα διαθλώνται.

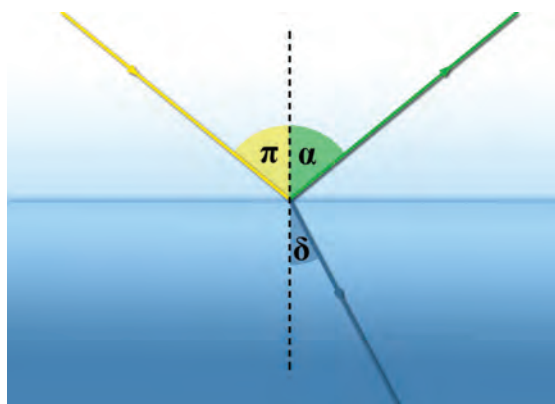
Για να μελετήσουμε το φαινόμενο της διάθλασης ορίζουμε τη γωνία πρόσπτωσης ($\hat{\pi}$), όπως και στην ανάκλαση, και τη γωνία διάθλασης ($\hat{\delta}$) που σχηματίζεται από την ακτίνα που διαθλάται και την κάθετη στην επιφάνεια πρόσπτωσης (εικόνα 8.2). Μπορούμε να επαληθεύσουμε πειραματικά ότι κατά τη διάθλαση του φωτός ικανοποιούνται οι ακόλουθοι νόμοι:

α. Η προσπίπτουσα ακτίνα, η διαθλώμενη και η ευθεία που είναι κάθετη στην επιφάνεια επαφής των δύο υλικών και περνά από το σημείο πρόσπτωσης βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο (εικόνα 8.2).



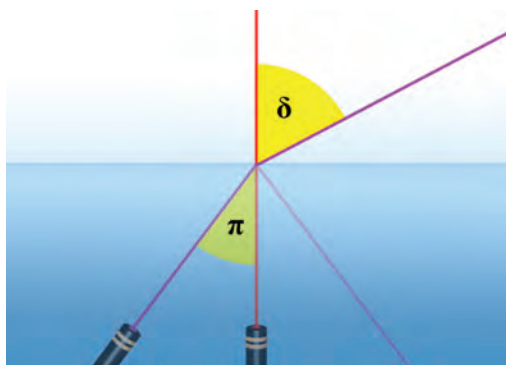
Εικόνα 8.1

Το κουτάλι φαίνεται να κάμπτεται καθώς βυθίζεται στο νερό.



Εικόνα 8.2

(α) Η προσπίπτουσα δέσμη παριστάνεται με την κίτρινη ακτίνα. (β) Η ανακλώμενη με την πράσινη. (γ) Η διαθλώμενη με την μπλε.



Εικόνα 8.3

Η φωτεινή δέσμη διαδίδεται από το νερό (οπτικά πυκνότερο) στον αέρα (οπτικά αραιότερο). Ένα μέρος της δέσμης διαθλάται και ένα άλλο υφίσταται ανάκλαση.

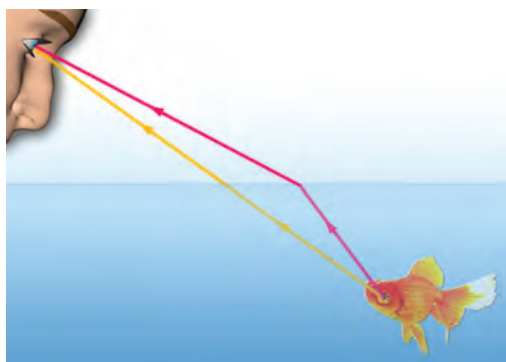
β. Όταν το φως περνά από ένα διαφανές σώμα σε άλλο οπτικά πυκνότερο (όπως όταν περνά από τον αέρα στο γυαλί), τότε η γωνία διάθλασης (δ) είναι μικρότερη από τη γωνία πρόσπτωσης (π) (εικόνα 8.2). Αντίθετα όταν το φως περνά από ένα οπτικά πυκνότερο σε ένα οπτικά αραιότερο μέσο, για παράδειγμα από το νερό στον αέρα, η διαθλώμενη ακτίνα απομακρύνεται από την κάθετη στην επιφάνεια, δηλαδή η γωνία διάθλασης είναι μεγαλύτερη από τη γωνία πρόσπτωσης (εικόνα 8.3).

Βέβαια διάθλαση (αλλαγή στη διεύθυνση διάδοσης) συμβαίνει μόνον όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μη μηδενική. Όταν η γωνία πρόσπτωσης ισούται με μηδέν, δηλαδή όταν η δέσμη του φωτός προσπίπτει κάθετα στην επιφάνεια, τότε η γωνία διάθλασης ισούται επίσης με το μηδέν. Το φως περνά στο άλλο μέσο, αλλά συνεχίζει να διαδίδεται στην ίδια διεύθυνση (εικόνα 8.3).

Διάθλαση και αρχή του ελάχιστου χρόνου

Στην ανάκλαση είδαμε ότι οι νόμοι της μπορούν να ερμηνευτούν χρησιμοποιώντας την αρχή του ελάχιστου χρόνου. Στην περίπτωση αυτή το φως διαδίδεται σε ομογενές υλικό με την ίδια ταχύτητα. Η διαδρομή που απαιτεί τον ελάχιστο χρόνο είναι αυτή με το ελάχιστο μήκος.

Όταν το φως διαδίδεται από ένα υλικό σε άλλο και στο δεύτερο υλικό η ταχύτητά του είναι διαφορετική απ' ό,τι είναι στο πρώτο, τότε ο χρόνος διάδοσης δεν εξαρτάται μόνο από το μήκος της διαδρομής αλλά και από την ταχύτητα. Σε αυτή την περίπτωση το φως δεν διαδίδεται ευθύγραμμα. Ακολουθεί τεθλασμένη πορεία διανύοντας μεγαλύτερη διαδρομή στο υλικό όπου η ταχύτητά του είναι μεγαλύτερη, ώστε να φθάσει στον προορισμό του στον ελάχιστο χρόνο (εικόνα 8.4). Το φως επομένως διαθλάται.



Εικόνα 8.4

Το φως χρειάζεται λιγότερο χρόνο να φθάσει από το ψάρι στο μάτι ακολουθώντας την τεθλασμένη διαδρομή από ό,τι την ευθύγραμμη.

Νόμος της διάθλασης (του Snell)

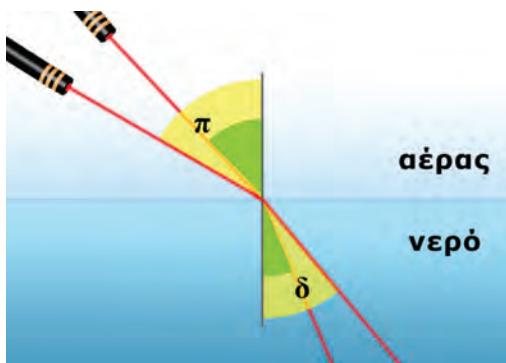
Είδαμε ότι οι φωτεινές ακτίνες που περνούν από τον αέρα στο γυαλί ή σε οποιοδήποτε άλλο οπτικά πυκνότερο μέσο διαθλώνται και πλησιάζουν την κάθετη στην επιφάνεια. Όσο η γωνία πρόσπτωσης αυξάνεται τόσο και η γωνία διάθλασης αυξάνεται (εικόνα 8.5).

Ποια σχέση συνδέει τις δύο γωνίες και τις ταχύτητες διάδοσης του φωτός στα δύο μέσα;

Το 1621 ο Ολλανδός φυσικός Σνελ (Snell) διατύπωσε τη σχέση που συνδέει τη γωνία πρόσπτωσης (π) με τη γωνία διάθλασης (δ) και ονομάζεται νόμος του Σνελ. Σύμφωνα με τον **νόμο του Σνελ** (στη διάθλαση) το **πηλίκο του ημιτόνου της γωνίας πρόσπτωσης προς το ημίτονο της γωνίας διάθλασης είναι σταθερό**:

$$\frac{\eta\mu(\pi)}{\eta\mu(\delta)} = \text{σταθερό}$$

Όταν το φως περνάει από το κενό (ή τον αέρα) σε κάποιο άλλο υλικό, τότε αυτό τον σταθερό αριθμό τον ονομάζουμε δείκτη διάθλασης (n) αυτού του υλικού, οπότε ο νόμος του Σνελ γράφεται:



Εικόνα 8.5

Σε μεγαλύτερη γωνία πρόσπτωσης αντιστοιχεί και μεγαλύτερη γωνία διάθλασης.

$$\frac{\eta\mu(\hat{\pi})}{\eta\mu(\hat{\delta})} = n.$$

Το 1678 ο Κρίστιαν Χόυχενς (εικόνα 8.6) απέδειξε ότι ο δείκτης διάθλασης ενός υλικού ισούται με το πηλίκο της ταχύτητας του φωτός c στο κενό (και κατά προσέγγιση στον αέρα) προς την ταχύτητά του v στο υλικό. Δηλαδή:

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\eta\mu(\hat{\pi})}{\eta\mu(\hat{\delta})} \quad \text{ή} \quad \frac{\eta\mu(\hat{\pi})}{\eta\mu(\hat{\delta})} = n = \frac{c_0}{c} \quad (8.1)$$

Από τη σχέση 8.1 φαίνεται ότι ο δείκτης διάθλασης του αέρα ή του κενού είναι 1.

Είδαμε ότι το φως μέσα σε οποιοδήποτε υλικό διαδίδεται με μικρότερη ταχύτητα απ' ό,τι στο κενό ή τον αέρα. Άρα ο δείκτης διάθλασης για όλα τα υλικά είναι μεγαλύτερος της μονάδας.

Από το διάγραμμα 8.1 μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το κίτρινο φως διαδίδεται με μεγαλύτερη ταχύτητα στο νερό απ' ό,τι στο διαμάντι.

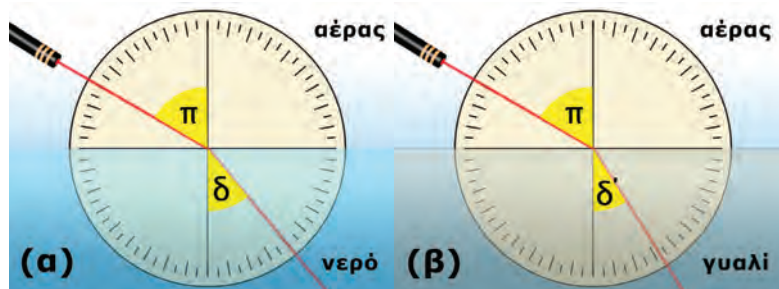
Γενικά όταν το φως διαδίδεται από ένα διαφανές μέσο 1 σε ένα άλλο μέσο 2 ισχύει:

$$\frac{\eta\mu(\hat{\pi})}{\eta\mu(\hat{\delta})} = \frac{n_2}{n_1} \quad (8.2)$$

Έτσι όταν το φως διαδίδεται από το οπτικά πυκνότερο μέσο (μέσο 1) προς τον αέρα (μέσο 2) η εξίσωση 8.2 μπορεί να γραφεί:

$$\frac{\eta\mu(\hat{\pi})}{\eta\mu(\hat{\delta})} = \frac{1}{n}. \quad (8.3)$$

Από τις τιμές του διαγράμματος 8.1 βλέπουμε ότι το γυαλί έχει μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης από το νερό. Άρα για την ίδια γωνία πρόσπτωσης η γωνία διάθλασης είναι μικρότερη στο γυαλί απ' ό,τι στο νερό (η φωτεινή ακτίνα κάμπτεται περισσότερο στο γυαλί) (εικόνα 8.7). Γενικά όσο μικρότερη είναι η ταχύτητα διάδοσης του φωτός σε ένα μέσο, τόσο μεγαλύτερη τιμή έχει ο δείκτης διάθλασής του και τόσο πιο έντονη είναι η διάθλαση σ' αυτό. Η ταχύτητα του φωτός σε ένα μέσο εξαρτάται από το είδος του υλικού αλλά και από την ενέργεια των φωτονίων της ακτινοβολίας, δηλαδή το χρώμα του φωτός. Συνεπώς και ο δείκτης διάθλασης ενός υλικού θα εξαρτάται τόσο από το υλικό όσο και από το χρώμα του φωτός.



Εικόνα 8.6

Κρίστιαν Χόυχενς (Huygens) (1629-1695)

Φυσικός, αστρονόμος και μαθηματικός ο οποίος γεννήθηκε στη Χάγη της Ολλανδίας, αλλά από το 1655 έως το 1681 έζησε στο Παρίσι όπου και έγινε ένα από τα ιδρυτικά μέλη της Γαλλικής Ακαδημίας των Επιστημών. Διατύπωσε την κυματική θεωρία του φωτός και ερμήνευσε την ανάκλαση και τη διάθλασή του. Ανακάλυψε τη μορφή των δακτυλίων του Κρόνου καθώς και έναν δορυφόρο του. Ασχολήθηκε με τη μαθηματική μελέτη και επίλυση πολλών προβλημάτων στη Μηχανική μεταξύ των οποίων ήταν και η κίνηση του απλού εκκρεμούς. Επινόησε την κατασκευή εκκρεμούς κατάλληλου για τη μέτρηση του χρόνου. Μαζί με τον Γαλιλαίο και τον Νεύτωνα θεωρείται από τους θεμελιωτές της Μηχανικής.

ΚΕΝΟ	1,00								
αέρας	1,0003								
νερό	1,33								
οινόπνευμα	1,36								
βοημική ύαλος	1,52								
χαλαζίας	1,54								
μολυβδύαλος	1,62								
διαμάντι	2,42								
	1					2			
δείκτης διάθλασης n									

Διάγραμμα 8.1

Τιμές του δείκτη διάθλασης σε διάφορα υλικά για το κίτρινο φως που εκπέμπεται από άτομα νατρίου.

◀ Εικόνα 8.7

Στο γυαλί το φως κάμπτεται περισσότερο απ' ό,τι στο νερό.

Παράδειγμα 8.1

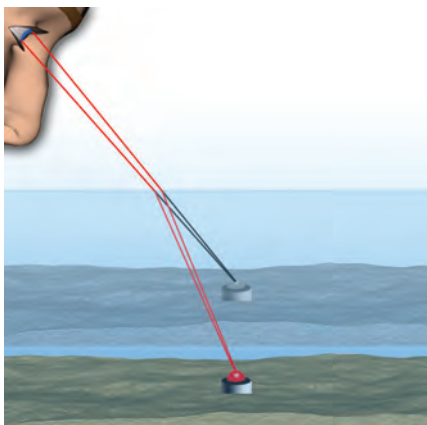
Μια λεπτή δέσμη φωτός προσπίπτει από τον αέρα στην επιφάνεια του νερού με γωνία πρόσπτωσης $\hat{\pi} = 60^\circ$ (εικόνα 8.7β). Να υπολογίσεις τη γωνία $\hat{\delta}$ που σχηματίζει η διαθλώμενη ακτίνα με την κάθετη στην επιφάνεια του νερού. Να χρησιμοποιήσεις τα δεδομένα από το διάγραμμα 8.1

Δεδομένα	Ζητούμενα	Βασική εξίσωση
Γωνία πρόσπτωσης $\hat{\pi} = 60^\circ$ Δείκτης διάθλασης του νερού (από το διάγραμμα 8.1) $n = 1,33$	Γωνία διάθλασης: $\hat{\delta}$	Νόμος του Σνελ: $\frac{\eta\mu(\hat{\pi})}{\eta\mu(\hat{\delta})} = n$

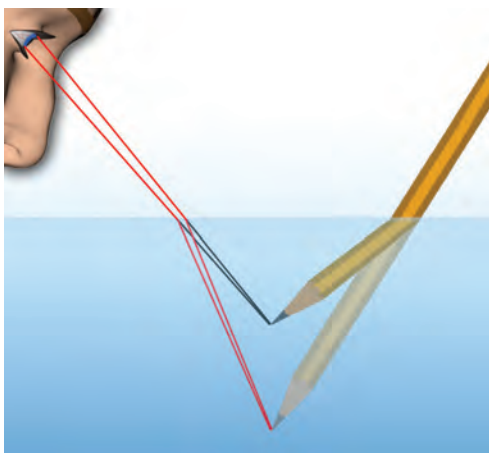
Λύση

Εφαρμόζουμε τη βασική εξίσωση: $\frac{\eta\mu(\hat{\pi})}{\eta\mu(\hat{\delta})} = n$ ή $\frac{\eta\mu 60^\circ}{\eta\mu(\hat{\delta})} = 1,33$ ή $\eta\mu(\hat{\delta}) = \frac{\eta\mu 60^\circ}{1,33} = \frac{0,866}{1,33} = 0,65$

Η γωνία διάθλασης $\hat{\delta}$ είναι $\hat{\delta} = 40,6^\circ$, δηλαδή μικρότερη της γωνίας πρόσπτωσης ($\hat{\pi} = 60^\circ$). Η ακτίνα πλησιάζει την κάθετη στην επιφάνεια πρόσπτωσης.

**Εικόνα 8.8**

Το είδωλο του αντικειμένου σχηματίζεται από τις προεκτάσεις των διαθλωμένων ακτίνων που φθάνουν στο μάτι μας.

**Εικόνα 8.9**

Το είδωλο της μύτες του μολυβιού σχηματίζεται από τις προεκτάσεις των διαθλωμένων ακτίνων.

8.2 Εφαρμογές της διάθλασης του φωτός**Φαινόμενη ανύψωση**

Γνωρίζοντας τον νόμο της διάθλασης είναι δυνατό να ερμηνεύσουμε τη φαινομενική ανύψωση του πυθμένα της θάλασσας ή της πισίνας και το φαινομενικό σπάσιμο του μολυβιού ή του κουταλιού στην επιφάνεια του νερού (εικόνα 8.9)

Ακτίνες φωτός που ξεκινούν από ένα σημείο του πυθμένα διαδίδονται από το νερό στον αέρα και φθάνουν στο μάτι μας. Στον αέρα το φως διαδίδεται με μεγαλύτερη ταχύτητα απ' ό,τι στο νερό. Έτσι μόλις η φωτεινή δέσμη διέλθει από το νερό στον αέρα, η γωνία που σχηματίζει με την κάθετη ευθεία στη διαχωριστική επιφάνεια αυξάνεται (εικόνα 8.8). Το μάτι μας προεκτείνει τις ακτίνες που φθάνουν σε αυτό και σχηματίζει το είδωλο του σημείου στην τομή των προεκτάσεων των ακτίνων. Το φως φαίνεται ότι εκπέμπεται από ένα σημείο που βρίσκεται ψηλότερα από την πραγματική θέση του σημείου εκπομπής του. Μας δημιουργείται λοιπόν η εντύπωση ότι ο πυθμένας βρίσκεται ψηλότερα απ' όσο είναι στην πραγματικότητα (εικόνα 8.8).

Ομοίως, επειδή κάθε σημείο του μολυβιού που βρίσκεται μέσα στο νερό φαίνεται ψηλότερα απ' όσο είναι στην πραγματικότητα, μας δημιουργεί την εντύπωση ότι το μολύβι είναι λυγισμένο προς τα πάνω (εικόνα 8.9).

Δραστηριότητα**Το αόρατο γίνεται ορατό**

- Τοποθέτησε ένα νόμισμα στον πυθμένα ενός κενού δοχείου και σε τέτοια θέση ώστε κοιτάζοντας πλάγια πάνω από τα χείλη του δοχείου μόλις να μη φαίνεται.
- Γέμισε το δοχείο με νερό χωρίς να το μετακινήσεις.
- Παρατήρησε ότι το νόμισμα γίνεται ορατό.

Πώς ερμηνεύεις το φαινόμενο αυτό;