

Πρόταση Μελέτης Λύσε από τον Ά τόμο των Γ. Μαθιουδάκη & Γ. Παναγιωτακόπουλου τις ακόλουθες ασκήσεις: 11.1 - 11.36, 11.46 - 11.50, 11.52 - 11.59, 11.61, 11.63, 11.64, 11.66 - 11.69, 11.71, 11.72, 11.75 - 11.79, 11.81

6.10 Ηλεκτρομαγνητικά Κύματα

Ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι η ταυτόχρονη διάδοση ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στο κενό με την ταχύτητα του φωτός. Σε όλα τα άλλα υλικά διαδίδονται με μικρότερη ταχύτητα.

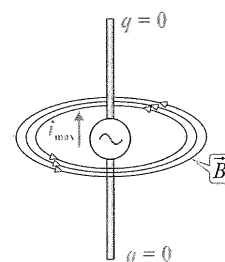
Η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος εξαρτάται από την φύση του μέσου διάδοσης. Για το κενό η ταχύτητα του είναι $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Μηχανισμός παραγωγής

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα δημιουργούνται από μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Ένα σταθερό ηλεκτρικό πεδίο ή ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο δεν παράγει ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Αυτό σημαίνει ότι ούτε τα ακίνητα φορτία, ούτε τα φορτία που κινούνται με σταθερή ταχύτητα (σταθερά ρεύματα) μπορούν να δημιουργήσουν ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Όταν, όμως, έχουμε ηλεκτρικά φορτία που επιταχύνονται, τα μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που δημιουργούν έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Επομένως:

Η αιτία δημιουργίας ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι η επιταχυνόμενη κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων.

Μια απλή συσκευή παραγωγής ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι το **ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο**. Το ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο είναι μια συσκευή που αποτελείται από δύο μεταλλικές ράβδους, οι οποίες συνδέονται με πηγή εναλλασσόμενης τάσης, όπως φαίνεται στο σχήμα. Στην περίπτωση αυτή οι ράβδοι φορτίζονται εναλλάξ με θετικά και αρνητικά φορτία που μεταβάλλονται ημιτονοειδώς με τον χρόνο. Η κίνηση αυτή των φορτίων αποτελεί εναλλασσόμενο ρεύμα. Τα ταλαντούμενα ηλεκτρικά δίπολα αποτελούν κοινή μέθοδο παραγωγής ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στους ραδιοφωνικούς και τηλεοπτικούς σταθμούς.



Από τις εξισώσεις του *Maxwell* για το Ηλεκτρικό και το Μαγνητικό πεδίο προκύπτει ότι:

- Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι εγκάρσιο, με τα διανύσματα του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου να είναι κάθετα μεταξύ τους και κάθετα στην διεύθυνση διάδοσης του κύματος.
- Κάθε στιγμή ο λόγος των μέτρων των εντάσεων του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου είναι ίσος με την ταχύτητα διάδοσης v (για το κενό c)

$$\frac{E}{B} = v \quad (107)$$

• **Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, όπως και τα μηχανικά, υπακούουν στην αρχή της επαλληλίας.**

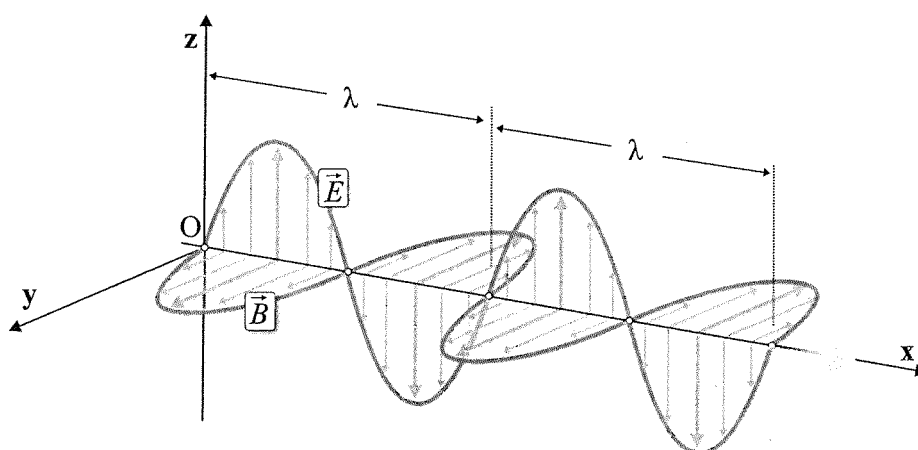
Οι εξισώσεις που περιγράφουν το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο ενός αρμονικού ηλεκτρομαγνητικού κύματος που διαδίδεται κατά τη διεύθυνση x είναι:

$$E = E_{max} \eta \mu 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (108)$$

$$B = B_{max} \eta \mu 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (109)$$

όπου βέβαια E_{max}, B_{max} είναι οι μέγιστες τιμές της έντασης του Ηλεκτρικού και Μαγνητικού πεδίου αντίστοιχα.

Το στιγμιότυπο ενός τέτοιου αρμονικού κύματος φαίνεται στο σχήμα:



Σχήμα 26: Στιγμιότυπο επιπέδου ηλεκτρομαγνητικού κύματος, διαδιδόμενου κατά την διεύθυνση του άξονα x . Οι γραμμές του $\vec{B}$ είναι παράλληλες προς τον άξονα y και οι γραμμές του $\vec{E}$ είναι παράλληλες προς τον άξονα z

Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Ηλεκτρομαγνητικά κύματα δεν παράγονται μόνο από ταλαντούμενα ηλεκτρικά δίπολα. Σήμερα γνωρίζουμε ότι συνδέονται με ένα πλήθος φυσικών φαινομένων, όπως αποδιεγέρσεις ατόμων, πυρηνικές διασπάσεις κλπ. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα καλύπτουν ένα εύρος μηκών κύματος και συχνοτήτων που ανάλογα με τον μηχανισμό παραγωγής τους. Παρά τις τεράστιες διαφορές στην παραγωγή τους, όλα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα έχουν τα γενικά χαρακτηριστικά που περιγράψαμε.

Εφόσον όλα διαδίδονται στο κενό με την ταχύτητα c η συχνότητα τους και το μήκος κύματος συνδέονται με τη σχέση:

$$c = \lambda \cdot f$$

που είναι η γνωστή μας **“Θεμελιώδης εξίσωση της κυματικής”** γραμμένη για την διάδοση ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο κενό.

Παρακάτω ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των διαφόρων περιοχών του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, κατά σειρά ελαττούμενου μήκους κύματος. Βέβαια δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός του κάθε τμήματος του φάσματος από τα υπόλοιπα.

- **Ραδιοκύματα.** Είναι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα με μήκος κύματος από $10^5 m$ έως μερικά εκατοστά. Δημιουργούνται από ηλεκτρονικά κυκλώματα, όπως τα κυκλώματα $L - C$ και χρησιμοποιούνται στην ραδιοφωνία και την τηλεόραση.
- **Μικροκύματα.** Το μήκος κύματος τους εκτείνεται από $30 cm$ έως $1 mm$ περίπου. Παράγονται από ηλεκτρονικά κυκλώματα. Μικροκύματα χρησιμοποιούν όχι μόνο οι φούρνοι, αλλά και τα ραντάρ.
- **Υπέρυθρα κύματα.** Καλύπτουν την περιοχή από $1 mm$ έως $7 \cdot 10^{-5} m$ περίπου. Τα κύματα αυτά εκπέμπονται από τα θερμά σώματα και απορροφώνται εύκολα από τα περισσότερα υλικά. Η υπέρυθη ακτινοβολία που απορροφάται από ένα σώμα, αυξάνει το πλάτος της ταλάντωσης των σωματιδίων από τα οποία αποτελείται, αυξάνοντας έτσι την θερμοκρασία του.
- **Το ορατό φως.** Είναι το μέρος εκείνο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανιχνεύει ο ανθρώπινος οφθαλμός. Το μήκος κύματος του ορατού φωτός κυμαίνεται από $400 nm - 700 nm$ ($1 nm = 10^{-9} m$). Το ορατό φως παράγεται από την ανακατανομή των ηλεκτρονίων στα άτομα και στα μόρια. Κάθε υποπεριοχή του ορατού φάσματος προκαλεί στον άνθρωπο την αίσθηση κάποιου συγκεκριμένου χρώματος. Τα μήκη κύματος των διάφορων χρωμάτων είναι:

700 έως 630 nm	Ερυθρό
630 έως 590 nm	Πορτοκαλί
590 έως 560 nm	Κίτρινο
560 έως 480 nm	Πράσινο
480 έως 440 nm	Κυανό
440 έως 400 nm	Ιώδες
- **Υπεριώδης ακτινοβολία.** Η ακτινοβολία αυτή καλύπτει τα μήκη κύματος από $3,8 \cdot 10^{-7} m$ έως $6 \cdot 10^{-8} m$ περίπου. Ο ήλιος είναι ισχυρή πηγή υπεριώδους ακτινοβολίας. Οι υπεριώδεις ακτίνες είναι υπεύθυνες για το “μάυρισμα”, όταν κάνουμε ηλιοθεραπεία το καλοκαίρι. Μεγάλες δόσεις βλάπτουν το ανθρώπινο οργανισμό. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ακτινοβολίας απορροφάται από τα άτομα και τα μόρια της στρατόσφαιρας.
- **Οι ακτίνες X** είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκη κύματος από $10^{-8} m$ έως $10^{-13} m$ περίπου. Η πιο κοινή αιτία παραγωγής ακτίνων X είναι η επιβράδυνση ταχέως κινούμενων ηλεκτρονίων καθώς αυτά προσκρούουν σε μεταλλικό στόχο. Οι ακτίνες X χρησιμοποιούνται στην ιατρική, αλλά και στην μελέτη κρυσταλλικών δομών.

- **Οι ακτίνες γ .** Είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από ορισμένους ραδιενεργούς πυρήνες καθώς και σε αντιδράσεις πυρηνών και στοιχειωδών σωματιδίων ή ακόμα και κατά τη διάσπαση στοιχειωδών σωματιδίων. Τα μήκη κύματος τους αρχίζουν από $10^{-10}m$ έως τα $10^{-14}m$. Είναι πολύ διεισδυτικές και βλάπτουν τους οργανισμούς που τις απορροφούν.

Πρόταση Μελέτης Λύσε απο τον **Ά τόμο των Γ. Μαθιουδάκη & Γ. Παναγιωτακόπουλου** τις ακόλουθες ασκήσεις: 12.1 - 12.16, 12.19 - 12.26

6.11 Ανάκλαση - Διάθλαση - Ολική Ανάκλαση

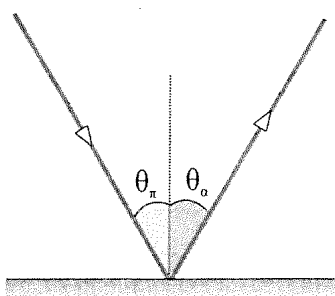
Ανάκλαση του φωτός

Όταν φως που διαδίδεται σε ένα μέσο συναντήσει τη διαχωριστική επιφάνεια ανάμεσα στο μέσο αυτό και σε ένα άλλο, τότε ένα μέρος του επιστρέφει στο αρχικό μέσο. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ανάκλαση**. Το φαινόμενο της ανάκλασης διακρίνεται α) σε Διάχυση και β) σε κατοπτρική ανάκλαση.

Στη περίπτωση που οι ακτίνες της φωτεινής παράλληλης δέσμης συναντήσουν μια τραχειά επιφάνεια, τότε ανακλώνται προς διάφορες κατευθύνσεις και διασκορπίζονται στον γύρω χώρο. Η ανάκλαση αυτή, στην οποία οι ανακλώμενες ακτίνες δεν είναι παράλληλες, ονομάζεται **διάχυση**. Εξαιτίας της διάχυσης γίνονται ορατά όλα τα σώματα που βρίσκονται γύρω μας.

Αν η επιφάνεια πάνω στην οποία προσπίπτει η δέσμη είναι λεία και στιλπνή (γυαλιστερή), τότε οι ανακλώμενες ακτίνες είναι παράλληλες μεταξύ τους. Η ανάκλαση αυτή ονομάζεται **κατοπτρική ανάκλαση**. Στο εξής με τον όρο ανάκλαση θα εννοούμε την κατοπτρική ανάκλαση.

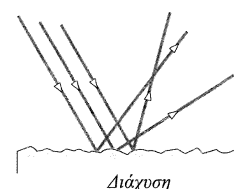
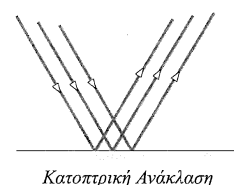
Έστω ότι μια φωτεινή ακτίνα προσπίπτει υπό γωνία πάνω σε μια λεία επιφάνεια και ανακλάται, όπως φαίνεται στο σχήμα. Η ακτίνα αυτή ονομάζεται **προσπίπτουσα ακτίνα** και η ακτίνα που ανακλάται ονομάζεται **ανακλώμενη ακτίνα**.



Η γωνία ανάμεσα στην προσπίπτουσα ακτίνα και την κάθετη στην επιφάνεια πρόσπτωσης ονομάζεται **γωνία πρόσπτωσης** (θ_π) και η γωνία ανάμεσα στην κάθετη στην επιφάνεια και την ανακλώμενη ακτίνα ονομάζεται **γωνία ανάκλασης** (θ_α). Πειραματικά προκύπτουν οι ακόλουθοι **νόμοι της ανάκλασης**:

- Η προσπίπτουσα ακτίνα, η ανακλώμενη ακτίνα και η κάθετη στην επιφάνεια στο σημείο της πρόσπτωσης βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο (επίπεδο πρόσπτωσης)
- Η γωνία ανάκλασης θ_α είναι ίση με τη γωνία πρόσπτωσης θ_π

$$\theta_\pi = \theta_\alpha \quad (110)$$



Διάθλαση του φωτός

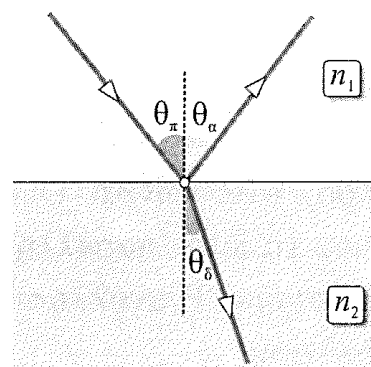
Όταν μια ακτίνα μονοχρωματικού φωτός που διαδίδεται σε ένα διαφανές μέσο συναντήσει τη διαχωριστική επιφάνεια ανάμεσα στο μέσο αυτό και σε ένα άλλο διαφανές μέσο, στο οποίο διαδίδεται με διαφορετική ταχύτητα, τότε ένα μέρος του αρχικού φωτός ανακλάται και το υπόλοιπο μέτος περνάει στο δεύτερο μέσο, αλλάζοντας διεύθυνση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται διάθλαση. Επομένως:

Διάθλαση του φωτός ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο, όταν μια μονοχρωματική ακτίνα συναντά τη διαχωριστική επιφάνεια δύο σοβαρών μέσων, περνάει από το πρώτο στο δεύτερο μέσο και αλληιάζει διεύθυνση διάδοσης.

Αιτία της διάθλασης είναι η διαφορετική ταχύτητα του φωτός στα δύο διαφανή μέσα. Η ακτίνα φωτός που περνάει στο δεύτερο μέσο διάδοσης ονομάζεται **διαθλώμενη ακτίνα**. Η γωνία που σχηματίζει η διεύθυνση της διαθλώμενης ακτίνας με την κάθετη στην επιφάνεια στο σημείο πρόσπτωσης ονομάζεται **γωνία διάθλασης** (θ_δ).

Όπως είναι γνωστό, η ταχύτητα του φωτός σε όλα τα διαφανή μέσα είναι μικρότερη από την ταχύτητα του στο κενό. **Ο λόγος της ταχύτητας c του φωτός στο κενό προς την ταχύτητα του v σε ένα διαφανές υλικό ονομάζεται δείκτης διάθλασης n του διαφανούς υλικού.** Δηλαδή:

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



Ο δείκτης διάθλασης είναι καθαρός αριθμός και για το κενό είναι ίσος εξ ορισμού με την μονάδα ($n = 1$) αφού για το κενό $v = c$. Για όλα τα διαφανή υλικά μέσα ο δείκτης διάθλασης είναι μεγαλύτερος της μονάδας ($n > 1$) αφού $c > v$ πάντα. Πειραματικά προκύπτουν οι ακόλουθοι **νόμοι της διάθλασης**:

- **Η προσπίπτουσα ακτίνα, η διαθλώμενη ακτίνα και η κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο διαφανών μέσων, στο σημείο πρόσπτωσης της ακτίνας, βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.**
- **Όταν το φως είναι μονοχρωματικό, ο λόγος του ημιτόνου της γωνίας πρόσπτωσης προς το ημίτονο της γωνίας διάθλασης είναι ίσος με τον αντίστροφο λόγο των δεικτών διάθλασης των δύο μέσων.** Δηλαδή:

$$\frac{\eta\mu\theta_\pi}{\eta\mu\theta_\delta} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow n_1\eta\mu\theta_\pi = n_2\eta\mu\theta_\delta \quad (111)$$

Η παραπάνω σχέση ονομάζεται **Νόμος του Snell (Σνέλ)**
Συμπεράσματα από το νόμο του Snell

- Όταν μια μονοχρωματική ακτίνα φωτός διέρχεται από ένα αραιό διαφανές μέσο 1 (n_1) σε ένα πυκνό διαφανές μέσο 2 ($n_2 > n_1$), στο οποίο η ταχύτητα του φωτός είναι

μικρότερη, τότε η γωνία διάθλασης είναι μικρότερη από τη γωνία πρόσπτωσης ($\theta_\delta < \theta_\pi$).

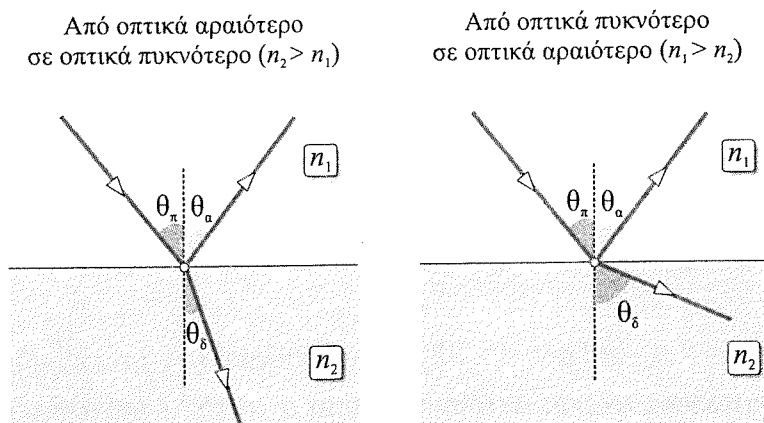
Απόδειξη :

$$\frac{n_1 \theta_\pi}{n_2 \theta_\delta} = \frac{n_2}{n_1} > 1 \Rightarrow n_1 \theta_\pi > n_2 \theta_\delta \Rightarrow \theta_\pi > \theta_\delta$$

(β) Όταν μια μονοχρωματική δέσμη φωτός διέρχεται από ένα πυκνό μέσο 2 (n_2) σε ένα αραιό μέσο 1 ($n_1 < n_2$), τότε η γωνία διάθλασης είναι μεγαλύτερη από την γωνία πρόσπτωσης ($\theta_\delta > \theta_\pi$).

Απόδειξη :

$$\frac{n_1 \theta_\pi}{n_2 \theta_\delta} = \frac{n_2}{n_1} < 1 \Rightarrow n_1 \theta_\pi < n_2 \theta_\delta \Rightarrow \theta_\pi < \theta_\delta$$



(γ) Όταν μια μονοχρωματική ακτίνα προσπίπτει κάθετα στην διαχωριστική επιφάνεια δύο διαφανών μέσων, τότε η ακτίνα δεν αλλάζει διεύθυνση. **Απόδειξη :**

$$\frac{n_1 \theta_\pi}{n_2 \theta_\delta} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow n_1 n_1 \theta_\pi = n_2 n_2 \theta_\delta \Rightarrow n_1^2 0 = n_2^2 \theta_\delta \Rightarrow n_2 \theta_\delta = 0 \Rightarrow \theta_\delta = 0$$

Πώς μεταβάλλονται τα μεγέθη της Θεμελιώδους εξίσωσης της Κυματικής, όταν μονοχρωματικό φως διέρχεται από ένα οπτικό μέσο σε ένα άλλο .

Όταν μονοχρωματικό φως διέρχεται από ένα διαφανές μέσο με δείκτη διάθλασης n_1 σε κάποιο άλλο διαφανές μέσο με δείκτη διάθλασης n_2 τότε :

- Η συχνότητα του φωτός f δεν αλλάζει, γιατί το φως είναι κύμα και ο αριθμός των κυμάτων που φτάνουν στην διαχωριστική επιφάνεια στην μονάδα του χρόνου πρέπει να είναι ίσος με τον αριθμό των κυμάτων που στον ίδιο χρόνο διέρχονται από αυτή. Η πηγή καθορίζει τον αριθμό των κυμάτων που παράγονται ανα μονάδα χρόνου.

- Η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων v είναι διαφορετική στα δύο μέσα διάδοσης και εξαρτάται από τον δείκτη διάθλασης $v = \frac{c}{n}$. Όσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης διάθλασης, τόσο μικρότερη είναι η ταχύτητα διάδοσης.
- Αφού η συχνότητα f του φωτός μένει σταθερή και η ταχύτητα διάδοσης είναι διαφορετική στα δύο μέσα, από την σχέση $v = \lambda f$ προκύπτει ότι το μήκος κύματος θα είναι επίσης διαφορετικό στα δύο μέσα.

Όταν μια μονοχρωματική ακτινοβολία μεταβαίνει από το κενό (ή τον αέρα) σε κάποιο άλλο διαφανές μέσο, το μήκος κύματος της ακτινοβολίας μειώνεται.

Για το κενό $c = \lambda_0 f$, με το λ_0 να είναι το μήκος κύματος στο κενό.

Για ένα διαφανές μέσο $v = \lambda f$, με το λ να είναι το μήκος κύματος στο μέσο αυτό.

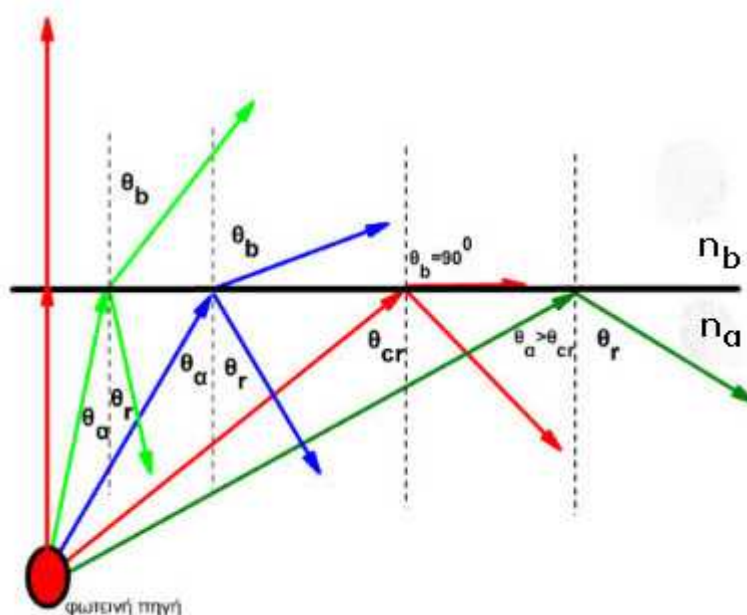
Διαιρώντας τις παραπάνω σχέσεις κατά μέλη προκύπτει.

$$\frac{c}{v} = \frac{\lambda_0}{\lambda} \Rightarrow n = \frac{\lambda_0}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{\lambda_0}{n} \quad (112)$$

Και αφού πάντα $n > 1$ τότε $\lambda_0 > \lambda$.

Ολική Εσωτερική Ανάκλαση

Το παρακάτω σχήμα δείχνει μερικές ακτίνες μονοχρωματικού φωτός που εκπέμπονται από μια σημειακή πηγή, η οποία βρίσκεται μέσα σε ένα διαφανές μέσο a με δείκτη διάθλασης n_a . Οι ακτίνες προσπίπτουν στην διαχωριστική επιφάνεια που χωρίζει το μέσο a με ένα δεύτερο μέσο b με δείκτη διάθλασης $n_b < n_a$.



Από τον Νόμο του *Snell* προκύπτει ότι:

$$\frac{\eta\mu\theta_a}{\eta\mu\theta_b} = \frac{n_b}{n_a}$$

Επειδή όμως $n_b < n_a$ προκύπτει ότι $\theta_b > \theta_a$.

Σε αυτή την περίπτωση η γωνία διάθλασης θ_b είναι πάντα μεγαλύτερη από την γωνία πρόσπτωσης θ_a

Η γωνία θ_a για την οποία η διαθλώμενη ακτίνα είναι παράλληλη προς την διαχωριστική επιφάνεια των δυο μέσων ονομάζεται **Κρίσιμη (ή οριακή) γωνία και συμβολίζεται με θ_{crit}** .

Για να υπολογίσουμε την Κρίσιμη γωνία χρησιμοποιούμε τον Νόμο του *Snell* για $\theta_b = 90^\circ$

$$\frac{\eta\mu\theta_{crit}}{\eta\mu 90^\circ} = \frac{n_b}{n_a} \Rightarrow \eta\mu\theta_{crit} = \frac{n_b}{n_a}$$

Όταν η γωνία πρόσπτωσης γίνει μεγαλύτερη από την κρίσιμη γωνία, δεν υπάρχει διαθλώμενη ακτίνα και ολόκληρη η προσπίπτουσα ακτίνα ανακλάται πάνω στην διαχωριστική επιφάνεια και "παγιδεύεται" στο μέσο *a*. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **Ολική εσωτερική ανάκλαση**.

Ολική εσωτερική ανάκλαση του φωτός ονομάζουμε το φαινόμενο κατά το οποίο, όταν μια φωτεινή ακτίνα, προερχόμενη από το μέσο με το μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης, πέφτει πάνω σε μια διαχωριστική επιφάνεια δύο διαφανών μέσων με γωνία μεγαλύτερη της κρίσιμης γωνίας, ολόκληρη η ακτίνα ανακλάται πάνω στη διαχωριστική επιφάνεια.

Προσοχή! Το φαινόμενο της ολικής εσωτερικής ανάκλασης συμβαίνει μόνο όταν φως μεταβαίνει από ένα πυκνό διαφανές μέσο σε ένα αραιό διαφανές μέσο και μόνο όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη της κρίσιμης γωνίας.

Όταν το φως μεταβαίνει από ένα διαφανές μέσο *a* με δείκτη διάθλασης $n_a = n$ στο κενό (ή στον αέρα) $n_b = 1$ τότε η κρίσιμη γωνία για το διαφανές μέσο *a* θα είναι:

$$\eta\mu\theta_{crit} = \frac{1}{n} \quad (113)$$

Άρα προκύπτει ότι για οπτικό μέσο με μεγάλο δείκτη διάθλασης η κρίσιμη γωνία είναι γενικά μικρή. π.χ. για το γυαλί $\theta_{crit} = 41,1^\circ$, για το διαμάντι $\theta_{crit} = 24^\circ$. Η μικρή κρίσιμη γωνία είναι ο λόγος που το διαμάντι με πολλές έδρες (ακριβό κόσμημα) λαμποκοπά στο φως! Το μεγαλύτερο μέρος του φωτός που εισέρχεται στο διαμάντι εγκλωβίζεται λόγω της εσωτερικής ανάκλασης εκεί.

Πρόταση Μελέτης Λύσε απο τον **Ά τόμο των Γ. Μαθιουδάκη & Γ. Παναγιωτακόπουλου** τις ακόλουθες ασκήσεις: 13.1 - 13.50, 13.55 - 13.58, 13.60, 13.61, 13.62, 13.64, 13.65, 13.67, 13.68, 13.70 - 13.77, 13.79, 13.80, 13.81, 13.83, 13.84, 13.87, 13.88, 13.89