

Σχ. 2.25 (α) Το κύκλωμα επιλογής (β) Σχηματική παράσταση της διαδικασίας λήψης

Εξειδίκευση HTML-20 ψηφία Κανονική 22/6/2009

2-8 ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ Κατεύθυνση: Φυσικός Εφαρμ.

Ηλεκτρομαγνητικά κύματα δεν παράγονται μόνο από ταλαντούμενα ηλεκτρικά δίπολα. Σήμερα γνωρίζουμε ότι συνδέονται με ένα πλήθος φυσικών φαινομένων όπως είναι η αποδιέγερση των ατόμων, οι πυρηνικές διασπάσεις κ.α. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα καλύπτουν ένα ευρύτατο φάσμα μηκών κύματος και συχνοτήτων. Η έκταση του φάσματος αυτού παρουσιάζεται στο σχήμα 2.26, στο οποίο σημειώνονται προσεγγιστικά οι περιοχές μήκους κύματος και συχνότητας των διαφόρων τμημάτων του. Παρά τις τεράστιες διαφορές στις εφαρμογές και στην παραγωγή τους, όλα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα έχουν τα γενικά χαρακτηριστικά που περιγράψαμε στην παράγραφο 2-6.

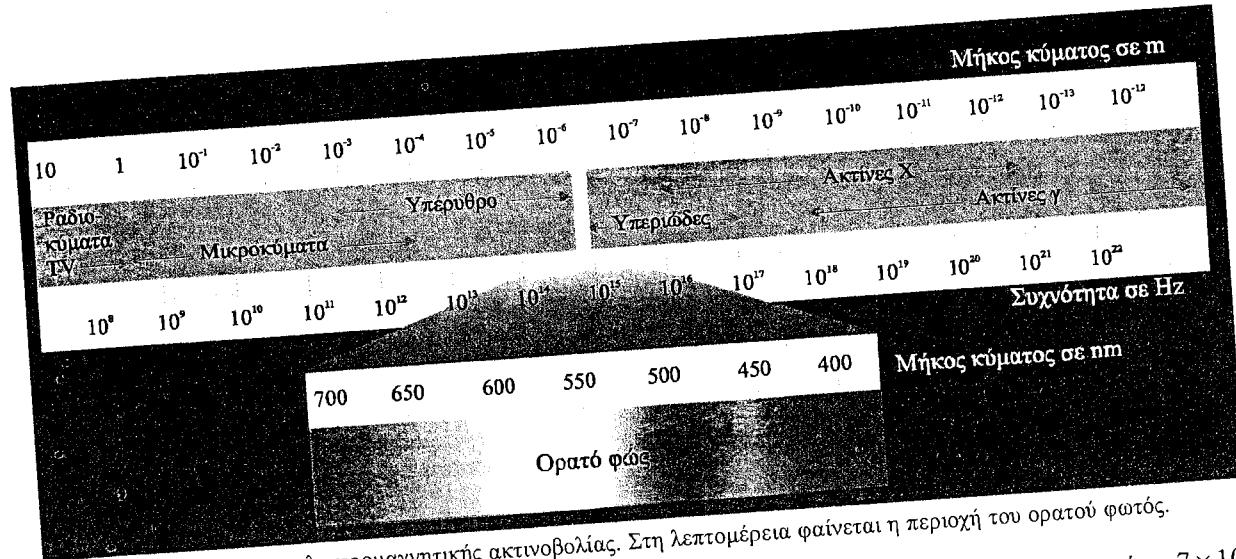
Εφόσον όλα διαδίδονται στο κενό με την ταχύτητα c , η συχνότητα τους και το μήκος κύματος συνδέονται με τη σχέση

$$c = \lambda f$$

Θα κάνουμε μια σύντομη περιγραφή των διαφόρων περιοχών του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κατά σειρά ελαττούμενου μήκους κύματος. Πρέπει όμως να έχουμε υπόψη μας ότι δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός του κάθε τμήματος του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τα υπόλοιπα.

Ραδιοκύματα. Είναι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα με μήκος κύματος από 10^5 μέτρα έως μερικά εκατοστά. Δημιουργούνται από ηλεκτρονικά κυκλώματα, όπως τα κυκλώματα LC, και χρησιμοποιούνται στη ραδιοφωνία και την τηλεόραση.

Μικροκύματα. Το μήκος κύματος τους εκτείνεται από 30cm έως 1mm περίπου. Παράγονται από ηλεκτρονικά κυκλώματα. Οι φούρνοι μικροκυμάτων με τους οποίους μαγειρεύουμε ή ζεσταίνουμε γρήγορα το φαγητό λειτουργούν με κύματα αυτής της περιοχής. Μικροκύματα χρησιμοποιούν και τα ραντάρ.



Σχ. 2.26 Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Στη λεπτομέρεια φαίνεται η περιοχή του ορατού φωτός.

Υπέρυθρα κύματα. Καλύπτουν την περιοχή από 1mm έως 7×10^{-7} m περίπου. Τα κύματα αυτά εκπέμπονται από τα θερμά σώματα και απορροφώνται εύκολα από τα περισσότερα υλικά. Η υπέρυθρη ακτινοβολία που απορροφάται από ένα σώμα αυξάνει το πλάτος της ταλάντωσης των σωματιδίων από τα οποία αποτελείται, αυξάνοντας έτσι τη 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 έως 700 nm (δηλαδή από 400×10^{-9} m έως 700×10^{-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. Προσεγγιστικά τα μήκη κύματος των διαφόρων χρωμάτων του ορατού φάσματος 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

Μια ακτινοβολία που περιέχει μήκη κύματος σε μια πολύ στενή περιοχή χαρακτηρίζεται μονοχρωματική. Για παράδειγμα, μια ακτινοβολία από 490 έως 491 nm είναι μια πράσινη μονοχρωματική αντινοβολία. Τέτοια ακτινοβολία μπορούμε να πάρουμε με τη χρήση ειδικών πηγών ή φίλτρων. Όταν χρησιμοποιούμε την έκφραση «μονοχρωματικό φως» με μήκος κύματος 580 nm στην πραγματικότητα εννοούμε φως σε μια στενή περιοχή μηκών κύματος γύρω στα 580 nm. Το απόλυτα μονοχρωματικό φως, δηλαδή το φως που αποτελείται μόνο από ένα μήκος κύματος, αποτελεί μια εξιδανίκευση. Τα λέιζερ παράγουν φως που πλησιάζει πολύ στο απόλυτα μονοχρωματικό.

Υπεριώδης ακτινοβολία. Η ακτινοβολία αυτή καλύπτει τα μήκη κύματος από $3,8 \times 10^{-7}$ m έως 6×10^{-8} m περίπου. Ο Ήλιος είναι ισχυρή πηγή υπεριώδους ακτινοβολίας. Οι υπεριώδεις ακτίνες είναι υπεύθυνες για το «μαύρισμα» όταν κάνουμε ηλιοθεραπεία, το καλοκαίρι. Μεγάλες δόσεις υπε-

ριώδους ακτινοβολίας βλάπτουν τον ανθρώπινο οργανισμό. Το μεγαλύτερο μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας, που φτάνει στη Γη από τον Ήλιο απορροφάται από τα άτομα και τα μόρια της ανώτερης ατμόσφαιρας (στρατόσφαιρα).

Το όζον της στρατόσφαιρας, απορροφά κατά κύριο λόγο την επικίνδυνη υπεριώδη ακτινοβολία. Σήμερα ανησυχούμε για την πιθανή καταστροφή αυτής της προστατευτικής ασπίδας ενάντια στις υπεριώδεις ακτίνες του Ήλιου. Το όζον της στρατόσφαιρας μειώνεται εξαιτίας εκτεταμένης χρήσης των χλωροφθορανθράκων, ενώσεων που χρησιμοποιούνται στα ψυγεία, τα κλιματιστικά τους ψεκαστήρες και αλλού.

Οι ακτίνες X (ή ακτίνες Röntgen) 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 ηλεκτρονίων που προσκρούουν με μεγάλη ταχύτητα σε ένα μεταλλικό στόχο. Οι ακτίνες X χρησιμοποιούνται στην ιατρική, κυρίως για διαγνωστικούς σκοπούς (ακτινογραφίες), και στη μελέτη των διαφόρων κρυσταλλικών δομών. Οι ακτίνες X μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στους ζωντανούς οργανισμούς, και γι' αυτό πρέπει να αποφεύγουμε την έκθεσή μας σ' αυτές χωρίς σοβαρό λόγο.

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

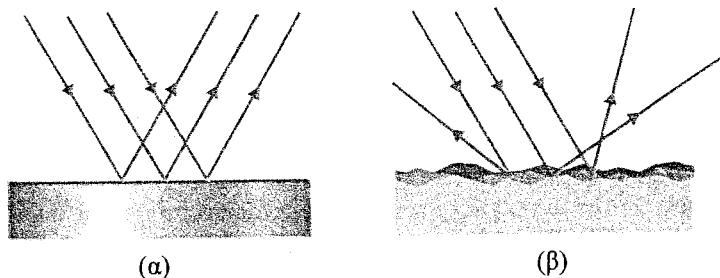
2-9 ΑΝΑΚΛΑΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΘΛΑΣΗ

A. Ανάκλαση του φωτός

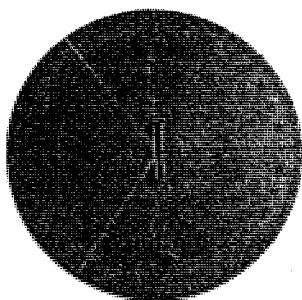
Όταν το φως που διαδίδεται σε ένα μέσο συναντήσει τη διαχωριστική επιφάνεια ανάμεσα στο αρχικό μέσο διάδοσης και σε ένα άλλο, ένα μέρος του επιστρέφει στο αρχικό μέσο.

Στο σχήμα 2.27α βλέπουμε πώς ανακλώνται οι ακτίνες μιας φωτεινής παράλληλης δέσμης που προσπίπτει πάνω σε λεία και στιλπνή επιφάνεια, (κάτοπτρο). Οι ανακλώμενες ακτίνες εξακολουθούν να είναι παράλληλες μεταξύ τους και η ανάκλαση αυτή ονομάζεται **κατοπτρική ανάκλαση**.

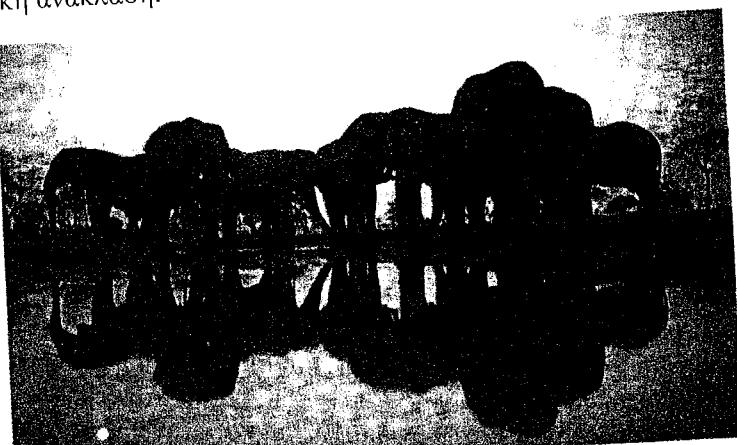
Εάν η επιφάνεια πάνω στην οποία προσπίπτει η δέσμη έχει ανωμαλίες, οι ακτίνες που την αποτελούν ανακλώνται σε διάφορες διευθύνσεις (σχ. 2.27β) και σκορπίζουν στο γύρω χώρο. Η ανάκλαση αυτή, στην οποία οι ανακλώμενες ακτίνες δεν είναι πια παράλληλες, ονομάζεται **διάχυση**.



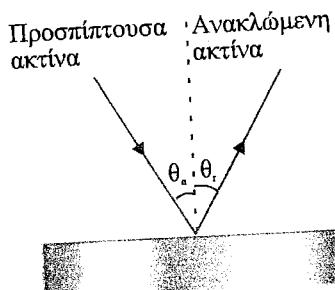
Σχ. 2.27 (a) Κατοπτρική ανάκλαση (β) διάχυση



Εικ. 2.7 Διάταξη για την πειραματική μελέτη της ανάκλασης του φωτός.



Εικ.2.8 Το είδωλο που βλέπουμε στην επιφάνεια της λίμνης προέρχεται από ακτίνες που φτάνουν σε μας αφού ανακλαστούν στην επιφάνεια της.



Σχ. 2.28 Ανάκλαση φωτεινής ακτίνας. θ_a είναι η γωνία πρόσπτωσης και θ_r , η γωνία ανάκλασης. Ισχύει $\theta_a = \theta_r$.

Έστω ότι μια φωτεινή ακτίνα προσπίπτει υπό γωνία πάνω σε μια λεία επιφάνεια και ανακλάται (σχ. 2.28). Τη γωνία ανάμεσα στην αρχική διεύθυνση της ακτίνας και στην κάθετη στην επιφάνεια την ονομάζουμε γωνία πρόσπτωσης (θ_a), και τη γωνία ανάμεσα στην κάθετη στην επιφάνεια και στη διεύθυνση της ανακλώμενης ακτίνας, γωνία ανάκλασης (θ_r).

Πειραματικά προκύπτει ότι :

1. Η προσπίπτουσα ακτίνα, η ανακλώμενη και η κάθετη στην επιφάνεια στο σημείο πρόσπτωσης, βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.
2. Η γωνία ανάκλασης θ_r , είναι ίση με τη γωνία πρόσπτωσης θ_a .

$$\theta_r = \theta_a$$

B. Διάθλαση του φωτός

Όταν το φως συναντήσει την επιφάνεια που διαχωρίζει το μέσον στο οποίο διαδίδεται από ένα άλλο διαφανές μέσο, στο οποίο διαδίδεται με διαφορετική ταχύτητα, ένα μέρος του ανακλάται και το υπόλοιπο μέρος του διαθλάται, δηλαδή περνάει στο δεύτερο μέσο, αλλάζοντας πορεία.

Η γωνία που σχηματίζει η διαθλώμενη ακτίνα με την κάθετη στην επιφάνεια λέγεται γωνία διάθλασης (σχ. 2.29).

Γνωρίζουμε ότι το φως διαδίδεται με τη μεγαλύτερη ταχύτητα στο κενό

Ο λόγος της ταχύτητας του φωτός στο κενό (c) , προς την ταχύτητά του (v) στο υλικό

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

ονομάζεται δείκτης διάθλασης (n) του οπτικού υλικού.

Ο δείκτης διάθλασης είναι καθαρός αριθμός και για οποιοδήποτε υλικό είναι μεγαλύτερος της μονάδας. Επειδή η ταχύτητα του φωτός στον αέρα είναι περίπου ίση με την ταχύτητα με την οποία διαδίδεται στο κενό ο δείκτης διάθλασης του αέρα συνήθως θεωρείται ίσος με τη μονάδα.

Πειραματικά προκύπτει ότι

1. Η προσπίπτουσα ακτίνα, η διαθλώμενη και η κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων, στο σημείο πρόσπτωσης της ακτίνας βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.
2. Όταν το φως είναι μονοχρωματικό, ο λόγος του ημίτονου της γωνίας πρόσπτωσης (θ_a) προς το ημίτονο της γωνίας διάθλασης (θ_b) είναι ίσος με τον αντίστροφο λόγο των δεικτών διάθλασης των δύο μέσων.

$$\frac{\eta \mu \theta_a}{\eta \mu \theta_b} = \frac{n_b}{n_a} \quad \text{ή} \quad n_a \eta \mu \theta_a = n_b \eta \mu \theta_b \quad (2.16)$$

Η σχέση αυτή ονομάζεται και νόμος του Snell (Σνέλ).

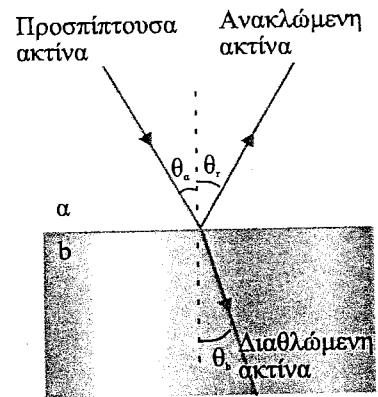
Η σχέση (2.16) δείχνει ότι όταν μια ακτίνα διέρχεται από ένα υλικό α σε ένα υλικό b στο οποίο η ταχύτητα του φωτός είναι μικρότερη ($n_b > n_a$), τότε η γωνία διάθλασης είναι μικρότερη από τη γωνία πρόσπτωσης, δηλαδή η διαθλώμενη ακτίνα πλησιάζει στην κάθετη, στο σημείο πρόσπτωσης. Αντίθετα αν η ταχύτητα του φωτός στο δεύτερο υλικό (b) είναι μεγαλύτερη της ταχύτητάς του στο πρώτο ($n_b < n_a$), η διαθλώμενη ακτίνα απομακρύνεται από την κάθετη.

Ο δείκτης διάθλασης του κενού είναι εξ ορισμού ίσος με τη μονάδα, επομένως όταν μια ακτίνα διέρχεται από το κενό σε ένα υλικό, πλησιάζει πάντα την κάθετη.

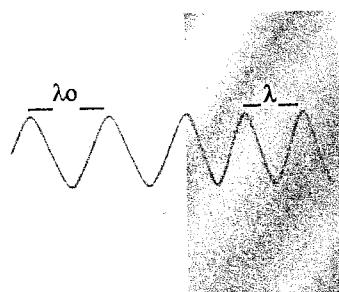
Όταν μια ακτίνα προσπίπτει κάθετα στη διαχωριστική επιφάνεια, $\theta_a=0$, $\eta \mu \theta_a=0$ και από (2.16) προκύπτει ότι και $\theta_b=0$. Δηλαδή η ακτίνα δεν αλλάζει κατεύθυνση.

Από τους νόμους της διάθλασης προκύπτει ότι η πορεία που ακολουθεί μια ακτίνα είναι ίδια είτε αυτή μεταβαίνει από το υλικό a στο b είτε αντίστροφα.

Όταν το μονοχρωματικό φως διέρχεται από ένα υλικό σε κάποιο άλλο, η συχνότητά του (f), δεν αλλάζει. Αφού η ταχύτητα με την οποία διαδίδεται το φως είναι διαφορετική στα δύο μέσα και η συχνότητα της ακτινοβολίας μένει σταθερή, το μήκος κύματος της ακτινοβολίας πρέπει να είναι διαφορετικό στα δύο μέσα. ($v = \lambda f$).



Σχ. 2.29 Ανάκλαση και διάθλαση φωτεινής μονοχρωματικής δέσμης κατά τη μετάβαση από ένα διαφανές μέσο σε άλλο.



Σχ. 2.30 Μονοχρωματική ακτινοβολία περνάει από τον αέρα σε ένα διαφανές μέσο. Το μήκος κύματος της ακτινοβολίας μειώνεται.

Εάν το ένα μέσο είναι το κενό ή - στην πράξη - ο αέρας τότε

$$c = \lambda_o f$$

όπου λ_o το μήκος κύματος της ακτινοβολίας στο κενό.

Σε κάθε υλικό ισχύει

$$v = \lambda f$$

Διαιρώντας τις δύο σχέσεις προκύπτει

$$\frac{c}{v} = \frac{\lambda_o}{\lambda} \quad \text{ή} \quad n = \frac{\lambda_o}{\lambda}$$

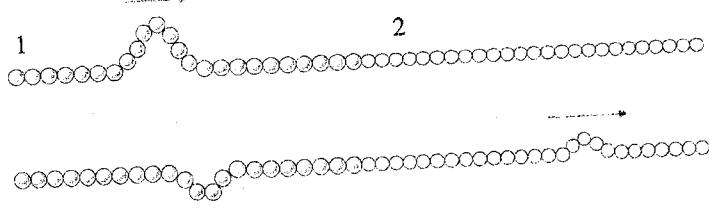
$$\text{οπότε} \quad \lambda = \frac{\lambda_o}{n}$$

επομένως το μήκος κύματος μιας μονοχρωματικής ακτινοβολίας που μεταβαίνει από το κενό ή τον αέρα σε κάποιο άλλο μέσο μειώνεται.

Στο φαινόμενο της διάθλασης οφείλονται πολλές οφθαλμαπάτες, όπως το φαινομενικό σπάσιμο μιας ράβδου που ένα τμήμα της είναι βυθισμένο στο νερό. Μια άλλη οφθαλμαπάτη φαίνεται στο σχήμα 2.31. Το μάτι αντιλαμβάνεται το φως σαν να διαδίδεται ευθύγραμμα. Έτσι βλέπει το ψάρι στην προέκταση της ακτίνας (εστιγμένη γραμμή), πιο κοντά στην επιφάνεια από ότι είναι πραγματικά.

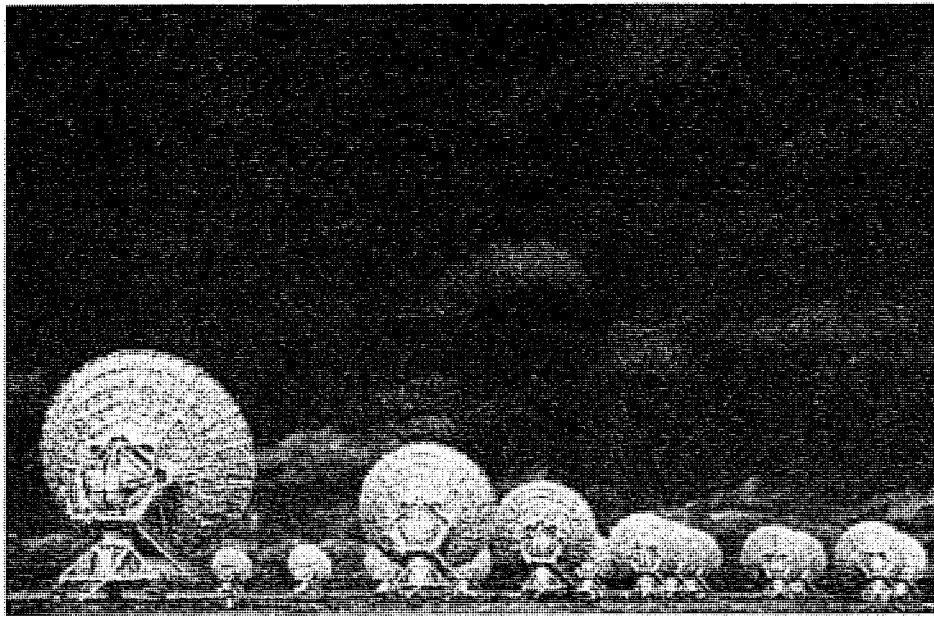
Σχ. 2.31 Εξαιτίας της διάθλασης ένα αντικείμενο μέσα στο νερό φαίνεται να βρίσκεται πιο κοντά στην επιφάνεια από όσο είναι πραγματικά.

Μελετήσαμε τα φαινόμενα της ανάκλασης και της διάθλασης για το φως κι αυτό γιατί ο ρόλος των φαινομένων στον κλάδο της φυσικής που μελετά το φως και ονομάζεται **οπτική** είναι σημαντικός, αλλά και γιατί, με το φως τα φαινόμενα είναι εύκολα παρατηρήσιμα. Ωστόσο πρέπει να επισημάνουμε ότι τα φαινόμενα αυτά δεν περιορίζονται μόνο στα φωτεινά κύματα αλλά είναι κοινά σε όλα τα είδη κυμάτων, ηλεκτρομαγνητικά και μηχανικά.



Σχ. 2.32 Όταν ο κυματικός παλμός που διαδίδεται στο μέσο 1 συναντήσει το μέσο 2 εν μέρει ανακλάται και εν μέρει συνεχίζει στο μέσο 2, με άλλη ταχύτητα.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι τα ραδιοκύματα ανακλώνται σε μεταλλικές επιφάνειες. Θα έχετε παρατηρήσει τις κεραίες εκπομπής με μεταλλικό "κάτοπτρο" ή τις κεραίες δορυφορικής λήψης που επιστησίς φέρουν κάτοπτρο. Οι μεταλλικές επιφάνειες παίζουν για τα ραδιοκύματα το ρόλο που παίζουν οι καθρέφτες για το φως. Σε πολλές κεραίες εκπομπής, υπάρχει μια παραβολική μεταλλική επιφάνεια (κάτοπτρο). Χωρίς το κάτοπτρο, το κύμα που παράγεται από το ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο θα διασκορπιζόταν σε όλο το χώρο γύρω του. Με το κάτοπτρο, μετά την ανάκλασή του το κύμα διαδίδεται προς μια μόνο κατεύθυνση. Το κύμα αυτό είναι ικανό να φτάσει πολύ μακριά χωρίς σημαντική εξασθένιση. Στις κεραίες λήψης, το κάτοπτρο ανακλά τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που πέφτουν πάνω του και τα εστιάζει στην κεραία, με αποτέλεσμα το σήμα στην κεραία να είναι πιο ισχυρό.



Εικ. 2.9 Παραβολικές κεραίες ραδιοτηλεσκόπιου.

Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται οι δείκτες διάθλασης ορισμένων υλικών, για το κίτρινο φως με μήκος κύματος $\lambda_0 = 589 \text{ nm}$.

Υλικό	Δείκτης Διάθλασης	Υλικό	Δείκτης διά-θλασης
Στερεά		Υγρά	
Πάγος	1,309	Νερό	1,333
Πυριτική στεφανύαλος	1,52	Αιθυλική αλκοόλη	1,361
Μολυβδύαλος (κρύσταλλο)	1,66	Βενζόλιο	1,501
Φθορίτης	1,434	Αέρια	
Χλωριούχο νάτριο	1,544	Αέρας	1,000293
Αδάμας	2,419	Διοξείδιο του άνθρακα	1,00045

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2.3

Ακτίνα φωτός μήκους κύματος $\lambda_0 = 590 \times 10^{-9} \text{ m}$ μεταβαίνει από τον αέρα σε γυαλί, που έχει δείκτη διάθλασης 1,52. Η γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας είναι $\theta_o = 30^\circ$. Να υπολογίσετε:

- α) τη συχνότητα της ακτινοβολίας στον αέρα και στο γυαλί.
- β) την ταχύτητα διάδοσης στο γυαλί.
- γ) Το μήκος κύματος της ακτινοβολίας στο γυαλί.
- δ) τη γωνία διάθλασης της ακτίνας.

Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$.

Απάντηση :

- α) Όταν το φως διαδίδεται στον αέρα η ταχύτητά του είναι σχεδόν όση και η ταχύτητά του στο κενό δηλαδή c . Από τη θεμελιώδη εξίσωση της κυματικής έχουμε

$$c = \lambda_0 f \quad \text{ή} \quad f = \frac{c}{\lambda_0} = 5 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

Η συχνότητα μιας ακτινοβολίας δεν αλλάζει όταν το φως μεταβαίνει από το ένα μέσο στο άλλο.

Επομένως, και στο γυαλί η συχνότητα της ακτινοβολίας είναι $f = 5 \times 10^{14} \text{ Hz}$.