

ΤΟ ΦΩΣ**1.1 Η ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ**

Οι αρχαίοι Έλληνες πίστευαν ότι το φως αποτελείται από μικρά σωματίδια που κινούνται με πολύ μεγάλη ταχύτητα. Αυτή ήταν και η άποψη του Newton.

Πειράματα, όμως, που έκαναν οι Huygens και Young πάνω στα φαινόμενα της **συμβολής** και της **περίθλασης** απέδειξαν ότι το φως έχει κυματική φύση. Αργότερα ο Maxwell απέδειξε ότι το φως είναι εγκάρσια ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

Τέλος, ο Planck υποστήριξε τη σωματιδιακή φύση του φωτός για να ερμηνεύσει την ακτινοβολία που εκπέμπουν τα θερμά σώματα. Αυτή τη θεωρία χρησιμοποίησε ο Einstein για να ερμηνεύσει το **φωτοηλεκτρικό φαινόμενο**.

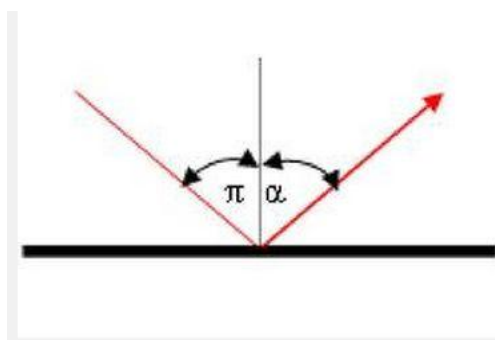
Σημείωση : **Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο** ονομάζεται η εκπομπή ηλεκτρονίων από την επιφάνεια μετάλλων όταν προσπίπτει πάνω τους κατάλληλη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Σήμερα πιστεύουμε ότι **το φως έχει διπλή φύση** : συμπεριφέρεται και ως κύμα και ως σωματίο που ονομάζεται φωτόνιο.

Σε φαινόμενα όπως η **συμβολή**, η **περίθλαση** και η **πόλωση** εκδηλώνεται η κυματική φύση του φωτός, ενώ σε φαινόμενα που σχετίζονται με την αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη (όπως είναι το **φωτοηλεκτρικό φαινόμενο** και η **ακτινοβολία που εκπέμπεται από θερμά σώματα**_) εκδηλώνεται η σωματιδιακή φύση του φωτός.

Στη σωματιδιακή φύση του φωτός στηρίχθηκε ο Newton για να διατυπώσει, με βάση την αρχή διατήρησης της ενέργειας και της ορμής, το **νόμο της ανάκλασης** του φωτός, δηλαδή:

$$\text{γωνία πρόσπτωσης } (\pi) = \text{γωνία ανάκλασης } (\alpha)$$



Σημείωση : Όταν λέμε γωνία πρόσπτωσης (π) και γωνία ανάκλασης (α) εννοούμε τις γωνίες που σχηματίζουν η προσπίπτουσα και η ανακλώμενη ακτίνα αντίστοιχα, με την κάθετο προς την ανακλώσα επιφάνεια.

α) Η Κυματική φύση του φωτός. Ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell

Ο Maxwell, το 1873, διατύπωσε τη θεωρία της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας: Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, το φως είναι εγκάρσια ηλεκτρομαγνητικά κύματα, που ξεκινούν από τη φωτεινή πηγή και διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις.

Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι ένα ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο των οποίων οι εντάσεις E και B αντίστοιχα, έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- οι διευθύνσεις τους είναι κάθετες μεταξύ τους,
- οι διευθύνσεις τους είναι κάθετες προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος και γι' αυτό λέμε ότι το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι εγκάρσιο.
- τα μέτρα τους μεταβάλλονται από θέση σε θέση και από στιγμή σε στιγμή (είναι, δηλαδή, τοπικά και χρονικά μεταβαλλόμενα μεγέθη),
- τα μέτρα τους σε κάθε σημείο παίρνουν ταυτόχρονα τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή τους (δηλαδή έχουν την ίδια φάση) και διαδίδονται με την ίδια ταχύτητα c .

Η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος (c), η συχνότητα (f) και το μήκος κύματος (λ) συνδέονται με τη σχέση

$$c = \lambda \cdot f \quad (\text{εξ. 1})$$

η οποία ονομάζεται θεμελιώδης εξίσωση της κυματικής.

Σημείωση 1 : Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα παράγεται από ταλαντώσεις ηλεκτρικών φορτίων.

Σημείωση 2 : Το φως είναι εκείνα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που έχουν μήκος κύματος από **400 nm έως 700 nm** ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)

Σημείωση 3 : Το φως μεταφέρει ενέργεια, π.χ θερμαίνει τα σώματα πάνω στα οποία πέφτει. Η ενέργεια αυτή είναι ενέργεια ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, η οποία παράγεται από τις πηγές και μεταφέρεται από το ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

β) Η σωματιδιακή φύση του φωτός. Θεωρία των κβάντα

Ενώ η ηλεκτρομαγνητική θεωρία κατόρθωσε να ερμηνεύσει διάφορα φαινόμενα του φωτός όπως η συμβολή, η περίθλαση, η πόλωση κ.λ.π δεν κατάφερε να δώσει εξηγήσεις για φαινόμενα που έχουν σχέση με την αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη (όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και η εκπομπή ακτινοβολίας από θερμά σώματα).

Έτσι, παράλληλα με την ύπαρξη της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας του φωτός, άρχισε να αναπτύσσεται μία άλλη θεωρία στην προσπάθεια των επιστημόνων να ερμηνεύσουν τα παραπάνω φαινόμενα. Η αρχή έγινε από τον Planck το 1900, ο οποίος, στην προσπάθειά του να ερμηνεύσει την ακτινοβολία που εκπέμπει ένα θερμαινόμενο σώμα, εισήγαγε τη θεωρία των κβάντων φωτός.

Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, που ονομάστηκε κβαντική θεωρία του Planck, το φως (και, γενικότερα, κάθε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία) εκπέμπεται και απορροφάται από τα άτομα της ύλης ασυνεχώς. Αυτό σημαίνει ότι από το άτομο δεν εκπέμπονται συνεχώς κύματα αλλά με ασυνεχή τρόπο στοιχειώδη ποσά ενέργειας, που ονομάζονται κβάντα φωτός ή φωτόνια.

Κάθε φωτόνιο χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένη συχνότητα f και συγκεκριμένη ενέργεια E . Η ενέργεια αυτή υπολογίζεται από τη σχέση

$$E = h \cdot f \quad (\text{εξ. 2})$$

όπου h είναι μία σταθερά που ονομάζεται σταθερά του Planck και ισούται με $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{sec}$.

Όταν προσπέσει φως πάνω σε κάποιο σώμα, τα άτομα του σώματος απορροφούν όχι μια συνεχή ποσότητα ακτινοβολίας, αλλά μεμονωμένα φωτόνια. Αν το σώμα είναι μέταλλο, τότε η ενέργεια κάθε φωτονίου μεταφέρεται σε ένα από τα ηλεκτρόνια του μετάλλου. Δηλαδή, τα ηλεκτρόνια του μετάλλου αλληλεπιδρούν με τα φωτόνια σαν να είναι τα φωτόνια σωματίδια.

Παρά όλα αυτά, η κβαντική θεωρία δεν αναιρεί την κυματική φύση του φωτός. Αυτό φαίνεται και από τον τύπο που δίνει την ενέργεια φωτονίου ($E = h \cdot f$). Στον τύπο αυτό υπάρχει και η συχνότητα, μία κατ' εξοχήν κυματική ιδιότητα.

1.2 Η ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

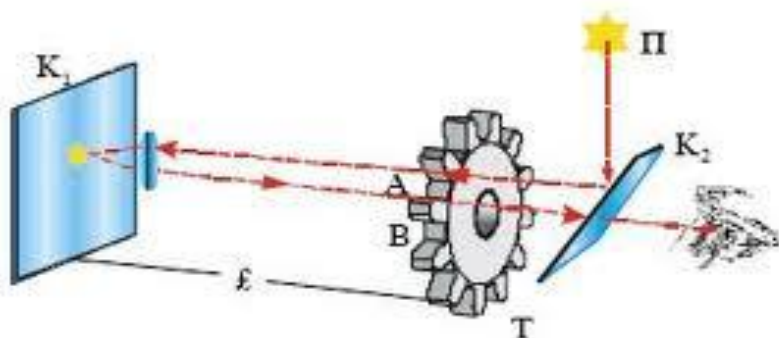
Η ταχύτητα του φωτός έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Το φως, όπως και κάθε ηλεκτρομαγνητικό κύμα, διαδίδεται στο κενό με σταθερή ταχύτητα $c_0 = 3 \cdot 10^8$ m/sec. Η τιμή αυτή είναι η μεγαλύτερη ταχύτητα που υπάρχει στη φύση.
- Η ταχύτητα του φωτός στο κενό έχει την ίδια τιμή σε όλα τα συστήματα αναφοράς, δηλαδή είναι ανεξάρτητη από την κίνηση της φωτεινής σε σχέση με τον παρατηρητή.
- Η ταχύτητα του φωτός μέσα σε οποιοδήποτε άλλο οπτικό μέσο είναι μικρότερη από την ταχύτητα του φωτός στο κενό και, μάλιστα, είναι διαφορετική για τα διάφορα χρώματα. Άλλη, για παράδειγμα, είναι η ταχύτητα του κόκκινου χρώματος στο νερό και άλλη η ταχύτητα του κίτρινου. Αντίθετα, στο κενό όλα τα χρώματα διαδίδονται με την ίδια ταχύτητα $c_0 = 3 \cdot 10^8$ m/sec

Ο Fizeau ήταν ο πρώτος που κατόρθωσε να μετρήσει την ταχύτητα του φωτός με μη αστρονομική μέθοδο χρησιμοποιώντας απλά μηχανικά μέσα.

Η τιμή που βρήκε για την ταχύτητα του φωτός με τη μέθοδο αυτή ήταν περίπου $3,13 \cdot 10^8$ m/sec.

Η διάταξη που χρησιμοποίησε φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Η φωτεινή ακτίνα που προέρχεται από την πηγή Π ανακλάται από το ημιεπαγυρωμένο κάτοπτρο K_2 και, αφού διανύσει την απόσταση L , προσπίπτει στο κάτοπτρο K_1 . Η ανακλώμενη ακτίνα επιστρέφει και γίνεται αντιληπτή από κάποιον παρατηρητή που βρίσκεται πίσω από το K_2 .

Ανάμεσα στον παρατηρητή και στο κάτοπτρο K_1 υπάρχει οδοντωτός τροχός που περιστρέφεται. Όταν η ανακλώμενη ακτίνα συναντάει κάποιο δόντι του τροχού δεν θα γίνεται αντιληπτή από τον παρατηρητή. Αντίθετα, όταν συναντάει διάκενο θα περνάει και θα γίνεται αντιληπτή. Για μία τυχαία συχνότητα περιστροφής του τροχού, η ανακλώμενη ακτίνα πότε θα συναντάει δόντι και πότε διάκενο. Έτσι, ο παρατηρητής θα βλέπει φως και σκοτάδι να εναλλάσσονται.

Αν, όμως, ρυθμιστεί κατάλληλα η συχνότητα περιστροφής τότε η ακτίνα που κατευθύνεται προς το K_1 συναντάει κάποιο διάκενο του τροχού και η ανακλώμενη συναντά το αμέσως επόμενο διάκενο.

Η ρύθμιση αυτή μπορεί να γίνει ως εξής: αρχίζουμε να περιστρέφουμε πολύ αργά τον τροχό και αυξάνουμε προοδευτικά τη συχνότητα περιστροφής του. Μόλις ο παρατηρητής διαπιστώσει ότι βλέπει συνεχώς την ανακλώμενη δέσμη, αυτό θα σημαίνει ότι για εκείνη την τιμή της συχνότητας η ανακλώμενη ακτίνα περνά από το αμέσως επόμενο διάκενο από το οποίο είχε περάσει η ακτίνα που κατευθυνόταν προς το K_1 .

Αφού, λοιπόν, ξέρουμε την τιμή της συχνότητας περιστροφής για την οποία συμβαίνουν τα παραπάνω σκεφτόμαστε ως εξής:

Όσο χρόνο έκανε η ακτίνα να πάει στο K_1 και να γυρίσει (δηλαδή $t = 2L / c$) τόσο χρόνο έκανε και ο τροχός για να περιστραφεί κατά ένα διάκενο (ή κατά ένα δόντι).

Ο χρόνος αυτός θα είναι ίσος με το πηλίκο της περιόδου T προς το πλήθος N των δοντιών του τροχού (αφού σε μία περίοδο T εκτελεί μία πλήρη περιστροφή και περιστρέφεται κατά N δόντια, για να περιστραφεί κατά ένα δόντι απαιτείται χρόνος $t = T / N$).

$$\text{Άρα :} \quad \frac{1/f}{N} = \frac{2L}{C} \Rightarrow C = 2LfN$$

Με βάση την παραπάνω εξίσωση ο Fizeau μπόρεσε να υπολογίσει την ταχύτητα του φωτός.

1.3 ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΟΥ

α) Ανάκλαση και διάθλαση του φωτός

Όταν μία φωτεινή δέσμη που διαδίδεται σε ένα οπτικό μέσο συναντήσει μία διαχωριστική επιφάνεια που χωρίζει το αρχικό μέσο από ένα άλλο μέσο (όταν, για παράδειγμα, μία φωτεινή δέσμη που διαδίδεται στον αέρα συναντήσει την επιφάνεια μιας λίμνης), τότε ένα μέρος της ανακλάται προς το αρχικό μέσο (τον αέρα) ενώ το υπόλοιπο περνάει στο άλλο μέσο (στο νερό).

Για την ανακλώμενη ακτίνα ισχύει ο νόμος της ανάκλασης που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο:

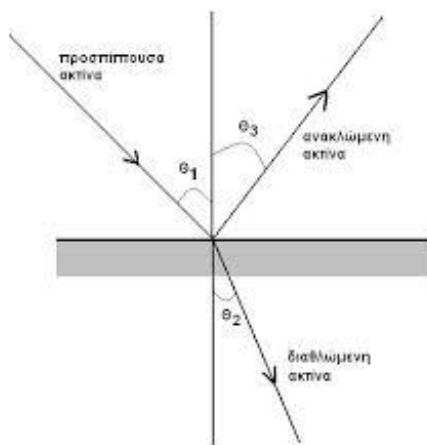
$$\text{Γωνία πρόσπτωσης } (\theta_{\pi}) = \text{Γωνία ανάκλασης } (\theta_{\alpha})$$

Οι ακτίνες που εισέρχονται στο δεύτερο μέσο αλλάζουν διεύθυνση διάδοσης. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται διάθλαση.

Πιο συγκεκριμένα: Όταν οι ακτίνες εισέρχονται από τον αέρα στο νερό (και, γενικότερα, από οπτικά αραιό σε οπτικά πυκνότερο μέσο) πλησιάζουν την κάθετο προς τη διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων, ενώ όταν εισέρχονται από το νερό στον αέρα (και, γενικότερα, από οπτικά πυκνό σε οπτικά αραιότερο μέσο) απομακρύνονται.

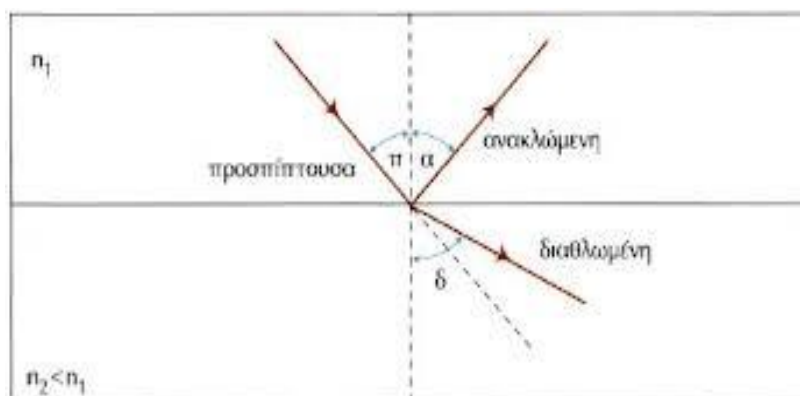
Σημείωση: Όταν λέμε ότι ένα μέσο Α είναι οπτικά πυκνότερο από ένα άλλο μέσο Β, εννοούμε ότι το φως διαδίδεται με μικρότερη ταχύτητα στο Α από ό,τι στο Β.

Παρακάτω φαίνονται δύο σχήματα : στο πρώτο σχήμα μία φωτεινή δέσμη εισέρχεται από αραιό μέσο σε πυκνότερο και πλησιάζει την κάθετο προς τη διαχωριστική επιφάνεια



7

ενώ στο δεύτερο σχήμα εισέρχεται από πυκνότερο μέσο σε αραιότερο και απομακρύνεται από την κάθετο.

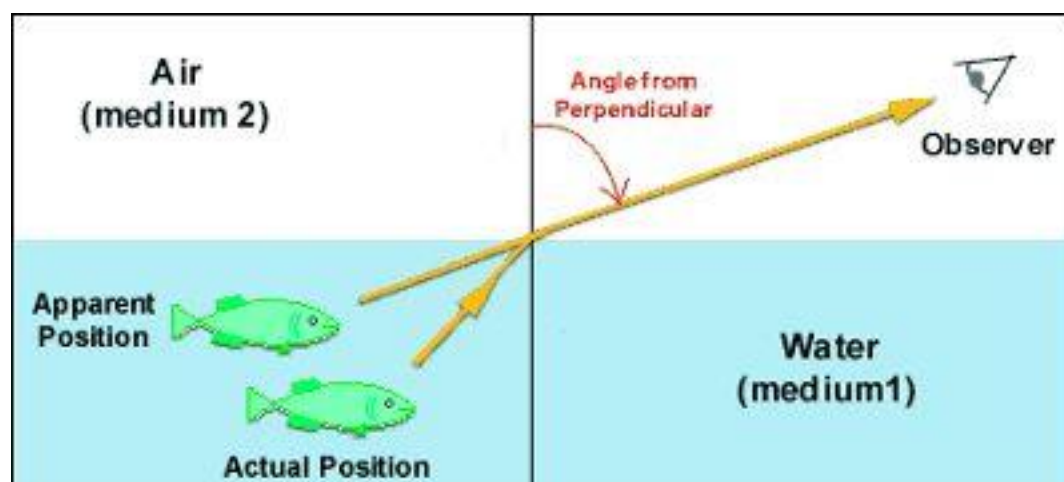


Αιτία της διάθλασης είναι το γεγονός ότι το φως διαδίδεται με διαφορετική ταχύτητα στα διάφορα οπτικά μέσα.

Αποτέλεσμα της διάθλασης είναι και το γεγονός ότι όταν παρατηρούμε αντικείμενα που βρίσκονται μέσα στο νερό μας δίνεται η εντύπωση ότι βρίσκονται ψηλότερα από ό,τι στην πραγματικότητα βρίσκονται.

Αυτό συμβαίνει επειδή η φωτεινή ακτίνα που ξεκινάει από τα αντικείμενα και κατευθύνεται προς το μάτι μας, μόλις συναντήσει τη διαχωριστική επιφάνεια νερού-αέρα παθαίνει διάθλαση. Έτσι, η ακτίνα που φτάνει στο μάτι μας από το αντικείμενο έχει υποστεί αλλαγή πορείας. Το μάτι με αυτό τον τρόπο ξεγελιέται και νομίζει ότι η ακτίνα έχει έρθει από πιο ψηλά.

Αυτό φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



β) Δείκτης διάθλασης

Το φως διαδίδεται στο κενό με ταχύτητα $c_0=3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Αυτή είναι και η μεγαλύτερη ταχύτητα που μπορεί να έχει το φως. Σε οποιοδήποτε άλλο μέσο διαδίδεται με μικρότερη ταχύτητα η οποία, μάλιστα, διαφέρει από μέσο σε μέσο.

Για το λόγο αυτό ορίζουμε ένα συντελεστή που ισούται με το πηλίκο της ταχύτητας του φωτός στο κενό (c_0) προς την ταχύτητα του φωτός σε κάποιο οπτικό μέσο (c) και ονομάζεται **δείκτης διάθλασης n** του μέσου αυτού.

Δηλαδή: $n = \frac{c_0}{c}$ (εξ. 3)

Παρατηρήσεις:

α) Ο δείκτης διάθλασης είναι καθαρός αριθμός, δηλαδή δεν έχει μονάδες.

β) Επειδή $c_0 > c$ για οποιοδήποτε μέσο, τότε $c_0/c > 1$. Δηλαδή ο δείκτης διάθλασης **οποιοδήποτε μέσου παίρνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας**.

γ) Στο κενό όλα τα χρώματα (δηλαδή οποιοδήποτε μήκος κύματος του φωτός) διαδίδονται με την ίδια ταχύτητα $c_0=3 \cdot 10^8 \text{ m/sec}$. Σε οποιοδήποτε άλλο οπτικό μέσο, όμως, κάθε χρώμα διαδίδεται με διαφορετική ταχύτητα από τα υπόλοιπα χρώματα.

Άρα, αφού ο δείκτης διάθλασης ενός μέσου δίνεται από το πηλίκο c_0 / c , συμπεραίνουμε **ότι ο δείκτης διάθλασης ενός μέσου εξαρτάται όχι μόνο από το μέσο αλλά και από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας**. Για παράδειγμα, άλλος είναι ο δείκτης διάθλασης του νερού για το κόκκινο χρώμα και άλλος για το κίτρινο.

Όταν, λοιπόν, το φως αλλάζει μέσο διάδοσης, αλλάζει και η ταχύτητά του. Επίσης, αλλάζει και το μήκος κύματος. Αντίθετα, η συχνότητά του παραμένει σταθερή (κατά συνέπεια και η περίοδος και η ενέργεια του φωτονίου).

Σημείωση : Η συχνότητα δεν μεταβάλλεται για τον εξής λόγο : όσα μήκη κύματος στη μονάδα του χρόνου προσπίπτουν στη διαχωριστική επιφάνεια, τόσα περνούν και στο δεύτερο μέσο, καθώς η διαχωριστική επιφάνεια ούτε δημιουργεί νέα κύματα αλλά και ούτε εξαφανίζει τα ήδη υπάρχοντα. Όμως το πλήθος των μηκών κύματος στη μονάδα του χρόνου είναι η συχνότητα του κύματος. Άρα, η συχνότητα του κύματος παραμένει σταθερή όταν το φως περνά στο δεύτερο μέσο.

γ) Σχέση ταχύτητας και μήκους κύματος

Έστω μία μονοχρωματική ακτινοβολία συχνότητας f που διαδίδεται σε δύο διαφορετικά οπτικά μέσα. Έστω, επίσης, ότι έχει μήκος κύματος λ_1 στο πρώτο μέσο και λ_2 στο δεύτερο (όπως έχουμε αναφέρει, η συχνότητά της θα είναι ίδια και στα δύο μέσα).

Αν εφαρμόσουμε τη θεμελιώδη εξίσωση της κυματικής δύο φορές (μία για κάθε μέσο) παίρνουμε :

$$c_1 = \lambda_1 \cdot f \quad (\text{εξ.4}) \quad \text{και} \quad c_2 = \lambda_2 \cdot f \quad (\text{εξ.5})$$

Αν διαιρέσουμε τις εξισώσεις (4) και (5) παίρνουμε:

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad (\text{εξ.6})$$

Από την εξ.6 προκύπτει ότι το μήκος κύματος μιας ακτινοβολίας είναι ανάλογο με την ταχύτητά της.

Άρα, σε οποιοδήποτε οπτικό μέσο (εκτός από το κενό και τον αέρα όπου όλα τα χρώματα έχουν την ίδια ταχύτητα) μεγαλύτερη ταχύτητα έχει το χρώμα με το μεγαλύτερο μήκος κύματος, δηλαδή το κόκκινο.

δ) Σχέση μήκους κύματος στο κενό και μήκους κύματος σε κάποιο άλλο μέσο

Έστω, τώρα, ότι το φως περνάει από το κενό σε κάποιο οπτικό μέσο. Αν εφαρμόσουμε τη θεμελιώδη εξίσωση της κυματικής μία φορά για το κενό και μία για το οπτικό μέσο, έχουμε:

$$c_0 = \lambda_0 \cdot f \quad (\text{εξ.7}) \quad \text{και} \quad c = \lambda \cdot f \quad (\text{εξ.8})$$

Αν, τώρα, διαιρέσουμε κατά μέλη τις εξισώσεις (7) και (8) παίρνουμε:

$$\frac{c_0}{c} = \frac{\lambda_0}{\lambda} \quad (\text{εξ.9})$$

Από τις εξισώσεις (3) και (9) προκύπτει ότι:

$$\frac{\lambda_0}{\lambda} = n \Rightarrow \lambda = \frac{\lambda_0}{n} \quad (\text{εξ.10})$$

Από την εξίσωση αυτή συμπεραίνουμε ότι όταν μία μονοχρωματική ακτινοβολία περάσει από το κενό σε οποιοδήποτε οπτικό μέσο, τότε ελαττώνεται το μήκος κύματός της.

ε) Σχέση δείκτη διάθλασης και μήκους κύματος

Έστω μία μονοχρωματική ακτινοβολία μήκους κύματος λ_0 στο κενό. Αν, για την ακτινοβολία αυτή, εφαρμόσουμε την εξ.10 για δύο οπτικά μέσα με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 αντίστοιχα παίρνουμε :

$$\lambda_1 = \frac{\lambda_0}{n_1} \quad (\text{εξ.11}) \quad \text{και} \quad \lambda_2 = \frac{\lambda_0}{n_2} \quad (\text{εξ.12})$$

Αν διαιρέσουμε τις εξισώσεις (11) και (12) κατά μέλη παίρνουμε :

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (\text{εξ.13})$$

Από την εξίσωση αυτή συμπεραίνουμε ότι **ο δείκτης διάθλασης ενός οπτικού μέσου για μία μονοχρωματική ακτινοβολία είναι αντιστρόφως ανάλογος του μήκους κύματος της ακτινοβολίας.**

Άρα, για ένα συγκεκριμένο οπτικό μέσο, μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης έχει το χρώμα με το μικρότερο μήκος κύματος, δηλαδή το ιώδες.

Αν συνοψίσουμε τις εξισώσεις (6) και (13) παίρνουμε :

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

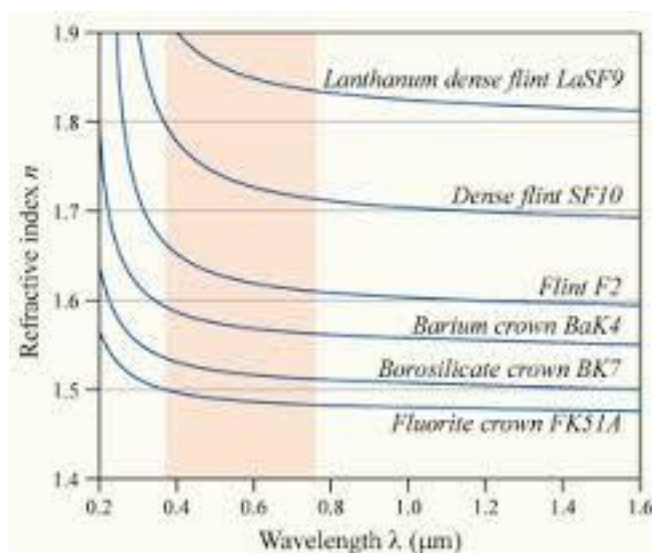
1.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΥΚΟΥ ΦΩΤΟΣ - ΧΡΩΜΑΤΑ

α) Διασκεδασμός

Διασκεδασμός ονομάζεται η εξάρτηση της ταχύτητας του φωτός και του δείκτη διάθλασης από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας.

Όσο αυξάνεται το μήκος κύματος της ακτινοβολίας (όσο πηγαίνουμε, δηλαδή, από το ιώδες προς το κόκκινο) αυξάνεται η ταχύτητα της ακτινοβολίας αλλά ελαττώνεται ο δείκτης διάθλασής της.

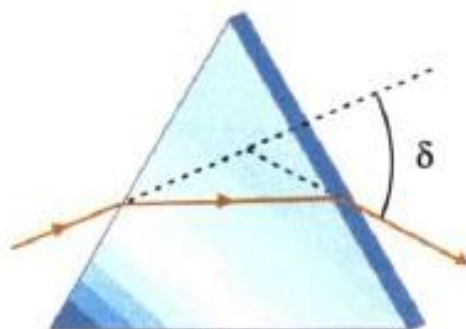
Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η γραφική παράσταση του δείκτη διάθλασης ενός οπτικού μέσου σε συνάρτηση με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας για διάφορα οπτικά μέσα



β) Ανάλυση του λευκού φωτός

Έστω μία μονοχρωματική ακτίνα φωτός που προσπίπτει στην επιφάνεια ενός γυάλινου πρίσματος. Επειδή το γυαλί έχει μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης από τον αέρα η ακτίνα, μπαίνοντας στο γυαλί, πλησιάζει την κάθετο προς την επιφάνεια του πρίσματος και, βγαίνοντας από την άλλη πλευρά, απομακρύνεται από την κάθετο προς την πλευρά αυτή. Έτσι η ακτίνα, καθώς βγαίνει από το πρίσμα, έχει εκτραπεί από την αρχική της πορεία.

Τα παραπάνω φαίνονται στο επόμενο σχήμα :



Η γωνία δ ανάμεσα στην αρχική διεύθυνση της ακτίνας και στην τελική ονομάζεται γωνία εκτροπής.

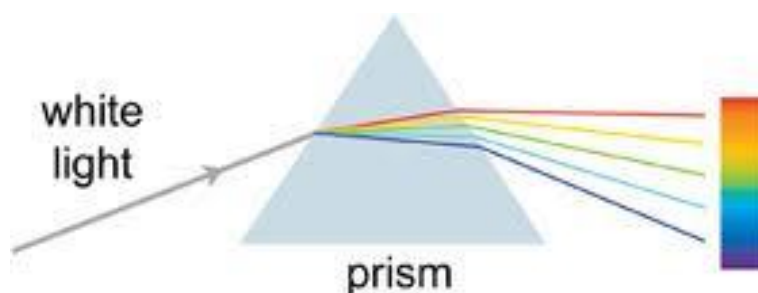
Η γωνία εκτροπής εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και, πιο συγκεκριμένα, **όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος κύματος τόσο μικρότερη είναι η γωνία εκτροπής** (καθώς μεγάλο μήκος κύματος σημαίνει μικρό δείκτη διάθλασης και, κατά συνέπεια, μικρή εκτροπή).

Αν τώρα, αντί για μονοχρωματική ακτίνα φωτός, πέσει στην επιφάνεια του πρίσματος **λευκό** φως (το οποίο περιέχει, όπως γνωρίζουμε, όλα τα χρώματα) κάθε χρώμα θα υποστεί διαφορετική εκτροπή από τα υπόλοιπα καθώς έχει διαφορετικό δείκτη διάθλασης. Έτσι, τα χρώματα θα ξεχωρίσουν μεταξύ τους και θα δούμε το λευκό φως να αναλύεται σε μία συνεχή ταινία που περιέχει όλα τα χρώματα. Η ταινία αυτή ονομάζεται φάσμα του λευκού φωτός.

Τα χρώματα του φάσματος κατά σειρά ελάττωσης του μήκους κύματος είναι : **κόκκινο, πορτοκαλί, κίτρινο, πράσινο, μπλε και ιώδες**.

Αφού το ιώδες έχει το μικρότερο μήκος κύματος θα έχει το μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης και, έτσι, θα υποστεί τη μεγαλύτερη εκτροπή. Γι αυτό στο φάσμα του λευκού φωτός βρίσκεται στη χαμηλότερη θέση. Αντίθετα, το κόκκινο παθαίνει τη μικρότερη εκτροπή και βρίσκεται στην υψηλότερη θέση του φάσματος.

Τα παραπάνω φαίνονται στο παρακάτω σχήμα :

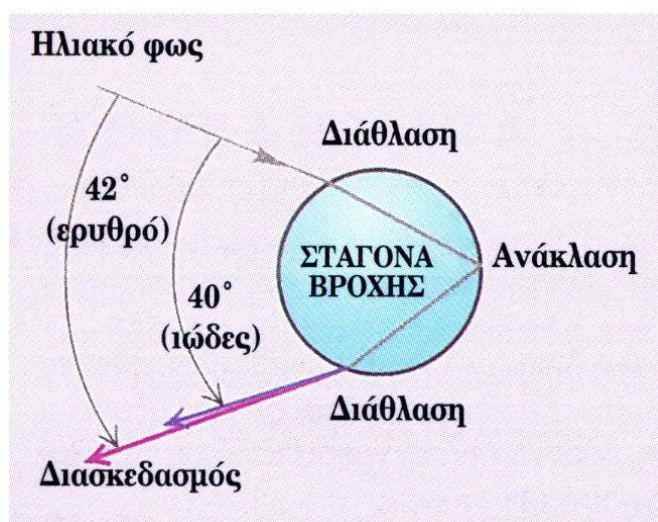


γ) Ουράνιο τόξο

Το ουράνιο τόξο παρατηρείται όταν στον ουρανό υπάρχουν σταγόνες βροχής και έχουμε τον ήλιο πίσω μας και όχι σε μεγάλο ύψος πάνω από τον ορίζοντα.

Σε κάθε σταγόνα βροχής συμβαίνουν τα εξής : το ηλιακό φως, καθώς περνά μέσα στη σταγόνα, διαθλάται και αναλύεται στα χρώματα από τα οποία αποτελείται, όπως ακριβώς συμβαίνει και σε ένα γυάλινο πρίσμα. Μόλις οι ακτίνες συναντούν την πίσω επιφάνεια της σταγόνας, και ενώ θα έπρεπε να βγουν στον αέρα, παθαίνουν ολική ανάκλαση επειδή συναντούν την επιφάνεια με μεγάλη γωνία πρόσπτωσης. Στη συνέχεια, συναντούν την μπροστινή επιφάνεια της σταγόνας και εκεί πλέον βγαίνουν στον αέρα.

Τα παραπάνω φαίνονται στο επόμενο σχήμα :



Σημείωση: Ολική ανάκλαση συμβαίνει όταν μία ακτίνα προσπαθεί να περάσει από ένα πυκνότερο μέσο σε ένα αραιότερο και η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγάλη (μεγαλύτερη από κάποια τιμή που ονομάζεται ορική ή κρίσιμη γωνία και η οποία εξαρτάται από το είδος των μέσων).

δ) Υπεριώδης ακτινοβολία

Υπεριώδης ονομάζεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που έχει μήκος κύματος μικρότερο από 400 nm και μεγαλύτερο του 1 nm. ($1 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$)

Η υπεριώδης ακτινοβολία έχει τις εξής ιδιότητες:

- Είναι αόρατη.
- Μαυρίζει το φωτογραφικό φιλμ.

- Προκαλεί φθορισμό σε διάφορα σώματα : δηλαδή, όταν στα σώματα αυτά πέσει υπεριώδης ακτινοβολία τα σώματα εκπέμπουν ορατές ακτινοβολίες.
- Συμμετέχει στη μετατροπή του οξυγόνου της ατμόσφαιρας σε όζον.
- Προκαλεί τη θέρμανση των σωμάτων από τα οποία απορροφάται.
- Υπεριώδης ακτινοβολία με πολύ μικρό μήκος κύματος προκαλεί βλάβη στα κύτταρα του δέρματος, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε καρκίνο του δέρματος.
- Χρησιμοποιείται στην Ιατρική για αποστείρωση εργαλείων.

Σημείωση : Επειδή η υπεριώδης ακτινοβολία είναι αόρατη, η ανίχνευσή της γίνεται με φωτογραφικό φιλμ.

ε) Υπέρυθρη ακτινοβολία

Υπέρυθρη ονομάζεται η ακτινοβολία που έχει μήκος κύματος μεγαλύτερο από 700 nm και μικρότερο από 1000000 nm. ($700 \text{ nm} < \lambda < 10^6 \text{ nm}$)

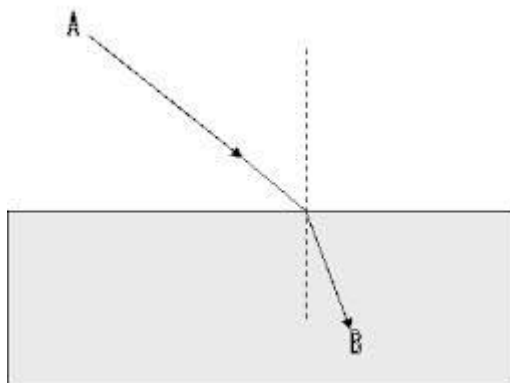
Η υπέρυθρη ακτινοβολία έχει τις εξής ιδιότητες :

- Προκαλεί έντονη αύξηση της θερμοκρασίας των στερεών και υγρών σωμάτων.
- Απορροφώνται επιλεκτικά από διάφορα σώματα και προκαλούν αύξηση της θερμοκρασίας τους.
- Διέρχονται μέσα από την ομίχλη και τα σύννεφα (έτσι, με ειδικά φιλμ που είναι ευαίσθητα στο υπέρυθρο φως πετυχαίνουμε φωτογράφιση ακόμα και όταν υπάρχει συννεφιά ή ομίχλη). Αυτό συμβαίνει επειδή η υπέρυθρη ακτινοβολία δεν απορροφάται από αέρια.
- Δεν έχουν χημική δράση και δεν προκαλούν φωσφορισμό (Φωσφορισμός ονομάζεται η εκπομπή ακτινοβολίας από σώματα που έχουν δεχτεί ακτινοβολία. Η διαφορά του από το φθορισμό είναι ότι ο φωσφορισμός συνεχίζεται και μετά τη διακοπή της ακτινοβολίας που τον προκάλεσε).

Σημείωση : Επειδή η υπέρυθρη ακτινοβολία είναι αόρατη, και επί πλέον δεν μαυρίζει το φωτογραφικό φιλμ όπως η υπεριώδης καθώς δεν προκαλεί χημικές δράσεις, η ανίχνευσή της γίνεται με ειδικά όργανα που ονομάζονται φωρατές. Η λειτουργία τους βασίζεται στην απορρόφηση της ενέργειας των υπέρυθρων ακτινοβολιών και στη μετατροπή τους σε άλλες μορφές ενέργειας.

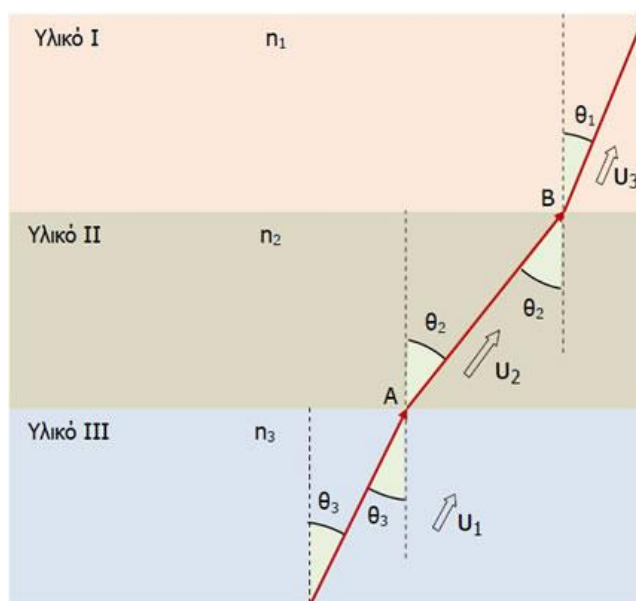
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

1. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η πορεία μιας μονοχρωματικής ακτίνας φωτός, καθώς αυτή περνάει από ένα οπτικό μέσο Α σε ένα άλλο οπτικό μέσο Β.



Με βάση το σχήμα αυτό να απαντήσετε στις παρακάτω ερωτήσεις:

- α) Ποιο οπτικό μέσο είναι οπτικά πυκνότερο;
 - β) Ποιο οπτικό μέσο έχει μικρότερο δείκτη διάθλασης;
 - γ) Σε ποιο οπτικό μέσο το φως διαδίδεται με μεγαλύτερη ταχύτητα;
 - δ) Σε ποιο οπτικό μέσο το φως έχει μεγαλύτερη συχνότητα;
 - ε) Σε ποιο οπτικό μέσο το φως έχει μεγαλύτερο μήκος κύματος;
2. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η πορεία μιας μονοχρωματικής ακτίνας φωτός καθώς αυτή διέρχεται από τρία διαδοχικά οπτικά μέσα 1, 2 και 3. Να συγκρίνετε τους δείκτες διάθλασης των υλικών.



3. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα γυάλινο πρίσμα βυθισμένο μέσα σε ένα υγρό.



Να σχεδιάσετε την πορεία μιας μονοχρωματικής ακτίνας φωτός που εισέρχεται στο γυάλινο πρίσμα, αν:

- α) το γυαλί είναι οπτικά πυκνότερο από το υγρό,
β) το γυαλί είναι οπτικά αραιότερο από το υγρό.
4. Έστω c_0 , λ_0 και f_0 η ταχύτητα, το μήκος κύματος και η συχνότητα μιας ακτινοβολίας στον αέρα. Αν η ταχύτητα της ακτινοβολίας αυτής ελαττώνεται κατά 25% καθώς εισέρχεται σε ένα οπτικό μέσο Α, να βρείτε το δείκτη διάθλασης του οπτικού μέσου Α καθώς και το μήκος κύματος και τη συχνότητα της ακτινοβολίας στο οπτικό μέσο Α.
5. Είναι δυνατόν να μεταβληθεί το μήκος κύματος μιας ακτινοβολίας από 500 nm σε 400 nm κατά τη μετάβασή της από κάποιο οπτικό μέσο στο κενό;
6. Μία μονοχρωματική ακτινοβολία προσπίπτει στη λεία διαχωριστική επιφάνεια που χωρίζει δύο διαφορετικά οπτικά μέσα. Με ποιο τρόπο πρέπει να γίνει η πρόσπτωση ώστε να μην έχουμε διάθλαση;
7. Να δείξετε ότι το μήκος κύματος μιας μονοχρωματικής ακτινοβολίας έχει μικρότερη τιμή σε οπτικά πυκνότερο μέσο από ό,τι σε οπτικά αραιότερο.
8. Δύο μονοχρωματικές ακτινοβολίες ίδιας συχνότητας περνούν η μία από τον αέρα στο νερό και η άλλη από τον αέρα σε γυαλί με την ίδια γωνία πρόσπτωσης. Αν η γωνία διάθλασης στο γυαλί είναι μικρότερη από τη γωνία διάθλασης στο νερό, να συγκρίνετε την ταχύτητα του φωτός στο νερό και την ταχύτητα του φωτός στο γυαλί.
9. Δέσμη λευκού φωτός προσπίπτει στη επιφάνεια ενός πρίσματος και κατά την έξοδο από το πρίσμα η δέσμη αναλύεται. Ποιου χρώματος, του ερυθρού ή του ιώδους, είναι μεγαλύτερη η γωνία εκτροπής; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας. (Πανελλήνιες 2000)

10. Να δικαιολογήσετε γιατί ο δείκτης διάθλασης ενός οποιουδήποτε οπτικού μέσου για μία μονοχρωματική ακτινοβολία δεν είναι δυνατόν να είναι μικρότερος από τη μονάδα. (Πανελλήνιες 2001)
11. Μονοχρωματική ακτινοβολία διαδίδεται σε δύο διαφορετικά υλικά, με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 όπου $n_2 > n_1$. Να δείξετε ότι $\lambda_1 > \lambda_2$, όπου λ_1 και λ_2 τα αντίστοιχα μήκη κύματος. (Πανελλήνιες 2001)

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ

1. Η κβαντική θεωρία του Planck κατόρθωσε να εξηγήσει:
α) τη συμβολή του φωτός,
β) την περίθλαση του φωτός,
γ) το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο,
δ) την πόλωση του φωτός.
2. Η ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell:
α) καταρρίφθηκε από την κβαντική θεωρία του Planck,
β) ερμηνεύει φαινόμενα που έχουν σχέση με την αλληλεπίδραση της φωτεινής ακτινοβολίας με την ύλη,
γ) δέχεται ότι κάθε σώμα εκπέμπει και απορροφά ακτινοβολία κατά ασυνεχή τρόπο,
δ) δεν μπορεί να ερμηνεύσει όλα τα φαινόμενα που έχουν σχέση με το φως.
3. Όταν μονοχρωματική ακτινοβολία περνάει από τον αέρα στο γυαλί, τότε:
α) η ταχύτητά της αυξάνεται,
β) το μήκος κύματός της ελαττώνεται,
γ) η συχνότητά της μεταβάλλεται,
δ) η διαθλώμενη ακτίνα απομακρύνεται από την κάθετο προς τη διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων.
4. Όταν μονοχρωματική ακτινοβολία περάσει από τον αέρα στο γυαλί, η γωνία πρόσπτωσης:
α) είναι μεγαλύτερη από τη γωνία διάθλασης,
β) είναι μικρότερη από τη γωνία ανάκλασης,
γ) είναι μεγαλύτερη από τη γωνία ανάκλασης,
δ) είναι μικρότερη από τη γωνία διάθλασης.
5. Το διαμάντι είναι οπτικά πυκνότερο μέσο από το νερό. Άρα:
α) μία μονοχρωματική ακτινοβολία διαδίδεται με μεγαλύτερη ταχύτητα στο διαμάντι από ό,τι στο νερό,
β) όταν μονοχρωματική ακτινοβολία περάσει από το νερό στο διαμάντι, η διαθλώμενη ακτίνα πλησιάζει την κάθετο προς τη διαχωριστική επιφάνεια,
γ) μία μονοχρωματική ακτινοβολία έχει μεγαλύτερο μήκος κύματος στο διαμάντι από ό,τι στο νερό,
δ) για μία μονοχρωματική ακτινοβολία ο δείκτης διάθλασης του διαμαντιού είναι μικρότερος από το δείκτη διάθλασης του νερού.
6. Η κίτρινη ακτινοβολία έχει μεγαλύτερο μήκος κύματος από την πράσινη. Άρα:
α) η ενέργεια της κίτρινης ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια της πράσινης,

β) η συχνότητα της κίτρινης ακτινοβολίας είναι μικρότερη από τη συχνότητα της πράσινης,

γ) όταν κίτρινη ακτινοβολία περνάει από τον αέρα στο γυαλί, εκτρέπεται εντονότερα από την πράσινη,

δ) η ταχύτητα της κίτρινης ακτινοβολίας στο γυαλί είναι μικρότερη από την ταχύτητα της πράσινης.

7. Αν n_1 και n_2 είναι οι δείκτες διάθλασης δύο μέσων και c_1 και c_2 οι ταχύτητες μιας μονοχρωματικής ακτινοβολίας στα μέσα αυτά, ποια από τις παρακάτω σχέσεις είναι η σωστή;

α) $n_1 \cdot n_2 = c_1 \cdot c_2$

β) $n_1 \cdot c_1 = n_2 \cdot c_2$

γ) $n_1 \cdot c_2 = n_2 \cdot c_1$

δ) $(n_2 - n_1) \cdot c_1 = c_2$

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

Δίνονται οι σταθερές $c=3 \cdot 10^8$ m/sec και $h=6,6 \cdot 10^{-34}$ J.sec

1. Να υπολογίσετε την ενέργεια ενός φωτονίου που έχει μήκος κύματος 660 nm στο κενό.
2. Μία φωτεινή πηγή εκπέμπει $5 \cdot 10^{20}$ φωτόνια ανά sec με μήκος κύματος 500 nm στο κενό. Να υπολογίσετε την ισχύ της φωτεινής πηγής.
3. Μία μονοχρωματική ακτινοβολία έχει μήκος κύματος 400 nm στο κενό. Να υπολογίσετε:
 - α) τη συχνότητά της,
 - β) την ταχύτητα διάδοσής της σε γυαλί με δείκτη διάθλασης $n=2$
 - γ) το μήκος κύματός της στο γυαλί.
4. Μονοχρωματική ακτινοβολία έχει μήκος κύματος 600 nm στο κενό και 400 nm σε γυαλί. Να υπολογίσετε:
 - α) το δείκτη διάθλασης του γυαλιού,
 - β) την ταχύτητα της ακτινοβολίας στο γυαλί,
 - γ) τη συχνότητα της ακτινοβολίας.
5. Στρώμα λαδιού πάχους $d_1=15$ cm βρίσκεται πάνω από στρώμα νερού πάχους $d_2=18$ cm. Μονοχρωματική ακτινοβολία διαπερνά κάθετα τα δύο στρώματα σε ίσους χρόνους. Αν ο δείκτης διάθλασης του νερού είναι $n=4/3$, να υπολογίσετε το δείκτη διάθλασης του λαδιού.
6. Μονοχρωματική ακτινοβολία, που στον αέρα έχει μήκος κύματος $\lambda_0=500$ nm, περνά από ένα οπτικό μέσο στον αέρα. Τότε, το μήκος κύματός της αυξάνεται κατά 25%. Να υπολογίσετε :
 - A) το δείκτη διάθλασης του οπτικού μέσου
 - B) τη μεταβολή της ταχύτητας διάδοσης της ακτινοβολίας κατά το πέρασμά της από το παραπάνω οπτικό μέσο στον αέρα
 Δίνεται : $c=3 \cdot 10^8$ m/sec
7. Μονοχρωματική ακτινοβολία συχνότητας $f=6 \cdot 10^{14}$ Hz περνά από τον αέρα σε οπτικό υλικό, μέσα στο οποίο το μήκος κύματός της ελαττώνεται κατά τα 2/5 της αρχικής του τιμής. Η ακτινοβολία, μέσα στο οπτικό υλικό, διανύει απόσταση $d=6$ cm. Να υπολογίσετε :
 - A) το δείκτη διάθλασης του οπτικού υλικού
 - B) την ταχύτητα διάδοσης της ακτινοβολίας στο οπτικό υλικό
 - Γ) τον αριθμό των μηκών κύματος της ακτινοβολίας που περιλαμβάνονται στην απόσταση d του διαφανούς υλικού
 Δίνεται : $c=3 \cdot 10^8$ m/sec

- 8.** Μία πηγή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας εκπέμπει κύματα με μήκος κύματος $\lambda_0=300 \text{ nm}$ στο κενό.
- Α) Να υπολογίσετε την ενέργεια ενός φωτονίου της ακτινοβολίας αυτής
- Β) Να υπολογίσετε τον αριθμό των φωτονίων που εκπέμπονται κάθε δευτερόλεπτο από την πηγή, αν η ισχύς της ακτινοβολίας είναι $P=6,63 \text{ kW}$
- Στη συνέχεια, η ακτινοβολία εισέρχεται κάθετα σε υλικό πάχους $d=6 \text{ cm}$ και δείκτη διάθλασης $n=5/4$. Να υπολογίσετε :
- Γ) την επί τοις εκατό μεταβολή του μήκους κύματος που υφίσταται η ακτινοβολία
- Δ) πόσο χρόνο χρειάζεται η ακτινοβολία για να διασχίσει την απόσταση των 6 cm στο παραπάνω υλικό
- Δίνονται : $h=6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{sec}$ και $c_0=3 \cdot 10^8 \text{ m/sec}$
- 9.** Μονοχρωματική ακτινοβολία με μήκος κύματος $\lambda_0=720 \text{ nm}$ στον αέρα, εισέρχεται ταυτόχρονα σε δύο διαφορετικά οπτικά υλικά κάθετα προς την επιφάνειά τους. Αν τα δύο υλικά έχουν το ίδιο πάχος $d=12 \text{ cm}$ και οι δείκτες διάθλασής τους είναι αντίστοιχα $n_1=1,2$ και $n_2=1,2$ να υπολογίσετε :
- Α) τη χρονική διαφορά εξόδου της ακτινοβολίας στα δύο υλικά
- Β) πόσα επιπλέον μήκη κύματος της ακτινοβολίας περιλαμβάνονται στο πρώτο μέσο σε σχέση με το δεύτερο
- Δίνεται : $c_0=3 \cdot 10^8 \text{ m/sec}$
- 10.** Δύο μονοχρωματικές ακτινοβολίες, όταν διαδίδονται στο κενό, έχουν μήκη κύματος $\lambda_{01}=600 \text{ nm}$ και $\lambda_{02}=200 \text{ nm}$. Οι ακτινοβολίες αυτές προσπίπτουν σε οπτικό μέσο, στο οποίο διαδίδονται με μήκη κύματος λ_1 και λ_2 αντίστοιχα. Ο δείκτης διάθλασης του οπτικού μέσου για το μήκος κύματος λ_{01} είναι n_1 και για το μήκος κύματος λ_{02} είναι n_2 . Η διαφορά των δεικτών διάθλασης είναι $n_2 - n_1=0,1$ ενώ τα μήκη κύματος έχουν λόγο $\lambda_1/\lambda_2=3,2$. Να υπολογίσετε :
- Α) τις συχνότητες των δύο ακτινοβολιών
- Β) τα μήκη κύματος λ_1 και λ_2 των δύο ακτινοβολιών στο οπτικό μέσο
- Δίνεται : $c_0=3 \cdot 10^8 \text{ m/sec}$

