

Κεφάλαιο 3

Το φώς

Β' Λυκείου



SCHOOLDOCTOR

1.1. Η φύση του φωτός

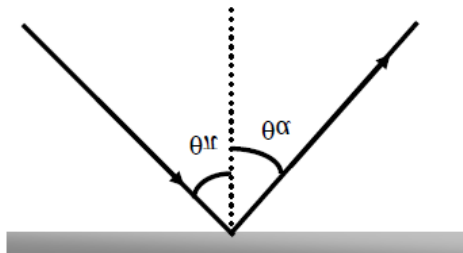
Φως

- Η βασική αιτία ύπαρξης ζωής στον πλανήτη μας
- Τα φυτά με τη φωτοσύνθεση χρησιμοποιούν το φως του ήλιου για την ανάπτυξή τους
- Το φως κάνει ορατά τα αντικείμενα.
- Με το φως «επικοινωνούμε» με άστρα, πλανήτες και με τη βοήθεια της φασματοσκοπικής μεθόδου παίρνουμε πληροφορίες για τη σύστασή τους

Σωματιδιακή φύση του φωτός

Το φως είναι σωματίδια πίστευαν οι αρχαίοι Έλληνες δηλ. το φως αποτελείται από σωματίδια ταχέως κινούμενα και πέφτοντας στο μάτι μας το διεγείρουν.

Ο Νεύτων στηρίχτηκε στη σωματιδιακή φύση του φωτός και με βάση την αρχή διατήρησης της ενέργειας και της ορμής διατύπωσε το νόμο της ανάκλασης του φωτός, δηλαδή



γωνία πρόσπτωσης (π) = γωνία ανάκλασης

$$\theta_{\pi} = \theta_{\alpha}$$

Κυματική φύση του φωτός

Οι **Huygens** (1670) και **Young** (1803) πειραματιζόμενοι σε φαινόμενα συμβολής και περίθλασης και αδυνατώντας να τα εξηγήσουν, δεχόμενοι ότι το φως είναι σωματίδια, διετύπωσαν ότι το φως είναι εγκάρσια κύματα.

Maxwell (1865) διετύπωσε ότι το φως είναι εγκάρσια ηλεκτρομαγνητικά κύματα κύματα

Planck (στις αρχές του αιώνα μας) ερμήνευσε το φαινόμενο της ακτινοβολίας των θερμών σωμάτων με τη βοήθεια της σωματιδιακής φύσης του φωτός

Einstein ερμήνευσε το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο με τη βοήθεια της σωματιδιακής φύσης του φωτός.

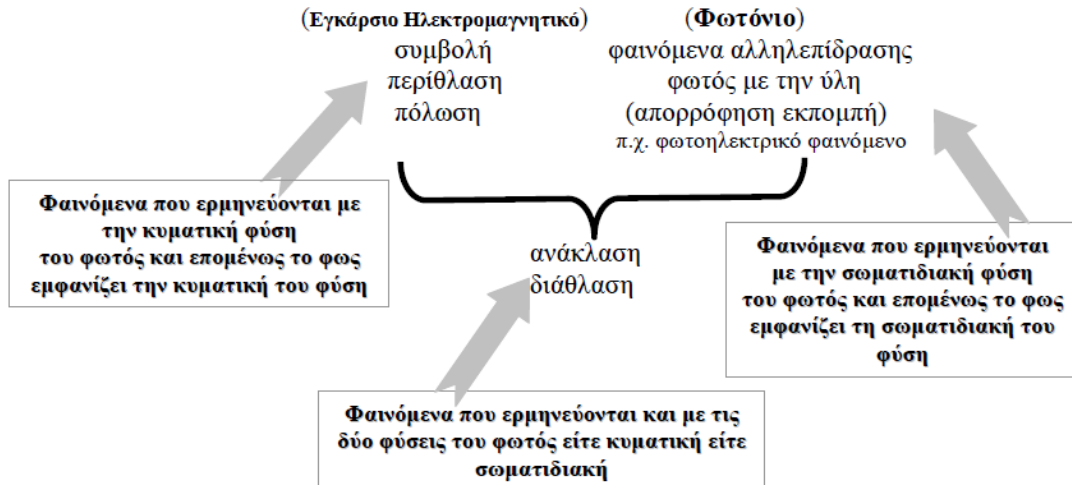
Ενώ προγενέστερα : οι Αρχαίοι Έλληνες πίστευαν ότι το φως είναι σωματίδια και ο **Newton** με τη βοήθεια της σωματιδιακής φύσης του φωτός διατύπωσε το νόμο της ανάκλασης του φωτός.

Επομένως τίθεται το ερώτημα :

Τελικά τι είναι το φως ; Σωματίδια ή κύματα ;

Σήμερα μπορούμε να πούμε ότι :

ΦΩΣ = ΚΥΜΑ + ΣΩΜΑΤΙΟ



Η κυματική φύση του φωτός - Ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell

Σύμφωνα με τη θεωρία του Maxwell , το φως

Είναι εγκάρσια ηλεκτρομαγνητικά κύματα που ξεκινούν από τη φωτεινή πηγή και διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις.

- Σύμφωνα με τον Maxwell η ταλάντωση του ηλεκτρικού φορτίου προκαλεί ηλεκτρομαγνητικό κύμα, δηλ. κύμα αποτελούμενο από ένα ηλεκτρικό κύμα έντασης E και ένα μαγνητικό κύμα έντασης B.
- Τα E και B είναι διανύσματα κάθετα μεταξύ τους ($E \perp B$).
- Τα E και B μεταβάλλονται από θέση σε θέση και από στιγμή σε στιγμή, δηλ. είναι δύο τοπικά και χρονικά μεταβαλλόμενα μεγέθη.
- Τα E και B παίρνουν ταυτόχρονα τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή τους, έχουν την ίδια φάση και διαδίδονται με την ίδια ταχύτητα c

Την ορθότητα της θεωρίας του Maxwell απέδειξε πειραματικά ο **Hertz**.

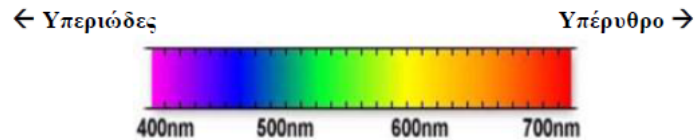
Αφού το φως είναι κύμα, σύμφωνα με τον Maxwell, για το φως θα ισχύει η :

Θεμελιώδης εξίσωση της κυματικής
 $c = \lambda \cdot f \Rightarrow c = \text{Error!}$

Το ανθρώπινο μάτι αντιλαμβάνεται μήκη κύματος λ από **400nm** (ιώδες) μέχρι **700nm** (ερυθρό)

$$400\text{nm} < \lambda_{\text{ορατών}} < 700\text{nm}$$

Φάσμα ορατών ακτινοβολιών



Το φως μεταφέρει ενέργεια (πχ θέρμανση σώματος από τον ήλιο).

Η ενέργεια αυτή παράγεται από τις πηγές σαν ενέργεια ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου και μεταφέρεται σαν ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Η σωματιδιακή φύση του φωτός - Θεωρία των κβάντα

Κβαντική θεωρία του Planck

Φαινόμενα που σχετίζονται με την **αλληλεπίδραση της φωτεινής ακτινοβολίας με την ύλη** δεν μπορούν να ερμηνευτούν με τη κλασσική θεωρία του ηλεκτρομαγνητισμού (θεωρία Maxwell), ενώ φαινόμενα όπως συμβολή, περίθλαση, πόλωση μπορούν να ερμηνευτούν με τη θεωρία του Maxwell.

Πολλά πειραματικά δεδομένα όμως δεν μπορούν να ερμηνευτούν μόνο με την παραδοχή ότι το φως είναι μόνο κύμα, όπως π.χ. το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

Η κβαντική θεωρία του Planck την οποία εφάρμοσε ο Einstein μπορεί να ερμηνεύσει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

Κβαντική θεωρία του Planck.

Το φως και γενικότερα κάθε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εκπέμπεται και απορροφάται από τα άτομα της ύλης όχι κατά τρόπο συνεχή αλλά **ασυνεχώς**. Δηλ. το άτομο εκπέμπει και απορροφά στοιχειώδη ποσά ενέργειας, που ονομάζονται **κβάντα φωτός ή φωτόνια**.

Από το άτομο δεν εκπέμπονται συνεχώς κύματα αλλά φωτόνια, καθένα από τα οποία χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένη συχνότητα f και έχει συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας E

Όταν το φως πέφτει πάνω στην ύλη, τα άτομα της ύλης απορροφούν την ακτινοβολία ασυνεχώς, δηλ. κάθε άτομο απορροφά μεμονωμένα φωτόνια.

Κάθε φωτόνιο έχει ενέργεια $E = h \cdot f \Rightarrow E = h \text{ Error!}$

όπου h η σταθερή του Planck και $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

Όταν το φως πέφτει πάνω στα μέταλλα, τότε μεταφέρεται ενέργεια από ένα φωτόνιο σε ένα από τα ηλεκτρόνια του ατόμου του μετάλλου. Δηλαδή το ηλεκτρόνιο αλληλεπιδρά με τα φωτόνια του φωτός σαν να είναι το φωτόνιο σωματίδιο.

- Η θεωρία των κβάντα δεν αναιρεί την κυματική φύση του φωτός.
- Το φωτόνιο έχει και κυματικές ιδιότητες.

π.χ. η ενέργεια του φωτονίου εξαρτάται από τη συχνότητά του f , κάτι που είναι μία κατ' εξοχή κυματική ιδιότητα.

☞ Για δύο μονοχρωματικές ακτινοβολίες που διαδίδονται στο κενό :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{f_1}{f_2} \qquad \frac{E_1}{E_2} = \frac{h \cdot f_1}{h \cdot f_2} \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{f_1}{f_2}$$

Για δύο μονοχρωματικές ακτινοβολίες που διαδίδονται στο κενό :

Ο λόγος των ενεργειών δύο φωτονίων ισούται με το λόγο των συχνοτήτων τους.

ή

Ο λόγος των ενεργειών δύο φωτονίων είναι ανάλογος με το λόγο των συχνοτήτων τους.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{T_2}{T_1} \qquad \frac{E_1}{E_2} = \frac{h \cdot f_1}{h \cdot f_2} \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{f_1}{f_2} \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{\frac{1}{T_1}}{\frac{1}{T_2}} \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{T_2}{T_1}$$

Για δύο μονοχρωματικές ακτινοβολίες που διαδίδονται στο κενό :

Ο λόγος των ενεργειών δύο φωτονίων ισούται με τον αντίστροφο λόγο των περιόδων τους.

ή

Ο λόγος των ενεργειών δύο φωτονίων είναι αντιστρόφως ανάλογος με το λόγο των περιόδων τους.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \qquad \frac{E_1}{E_2} = \frac{h \cdot f_1}{h \cdot f_2} \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{\frac{c}{\lambda_1}}{\frac{c}{\lambda_2}} \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

Για δύο μονοχρωματικές ακτινοβολίες που διαδίδονται στο κενό :

Ο λόγος των ενεργειών δύο φωτονίων ισούται με τον αντίστροφο λόγο των μηκών κύματός τους.

ή

Ο λόγος των ενεργειών δύο φωτονίων είναι αντιστρόφως ανάλογος με το λόγο των μηκών κύματός τους.

Χρήσιμες σημειώσεις για τη λύση ασκήσεων

- Θεμελιώδης εξίσωση της κυματικής :

$$c = \lambda \cdot f \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} \quad c = \frac{\lambda}{T}$$

- Ταχύτητα διάδοσης φωτεινής ακτινοβολίας :

$$c = \frac{x}{t}$$

- Σχέση περιόδου - συχνότητας :

$$f = \frac{N}{t} \xrightarrow[t=T]{N=1} f = \frac{1}{T} \Rightarrow T = \frac{1}{f}$$

- Ενέργεια φωτονίου :

$$E = h \cdot f \Rightarrow E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

- Ολική ενέργεια N αριθμού φωτονίων :

$$E_{O\Lambda} = N \cdot E = N \cdot h \cdot f \Rightarrow E = N \cdot h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

- Ισχύς που μεταφέρεται από N αριθμό φωτονίων :

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow P = \frac{E_{O\Lambda}}{t} \Rightarrow P = \frac{N \cdot E}{t} \Rightarrow P = \frac{N \cdot h \cdot f}{t} \Rightarrow P = \frac{N \cdot h \cdot c}{\lambda \cdot t}$$

- Αριθμός N μηκών κύματος που περιέχονται σε κάποιο μήκος d :

$$N = \frac{d}{\lambda}$$

1.3 Μήκος κύματος και συχνότητα του φωτός κατά τη διάδοσή του

Ανάκλαση και διάθλαση του φωτός

Όταν μια φωτεινή δέσμη που διαδίδεται σε ένα οπτικό μέσο Α, συναντήσει τη διαχωριστική επιφάνεια που χωρίζει το αρχικό οπτικό μέσο Α από ένα άλλο οπτικό μέσο Β, διαφορετικής πυκνότητας από το αρχικό:

κατά ένα μέρος της ανακλάται και ισχύει $\theta_{\pi} = \theta_{\alpha}$

και κατά το άλλο μέρος της διαθλάται, αλλάζοντας ταυτόχρονα και διεύθυνση διάδοσης, στο οπτικό μέσο Β.

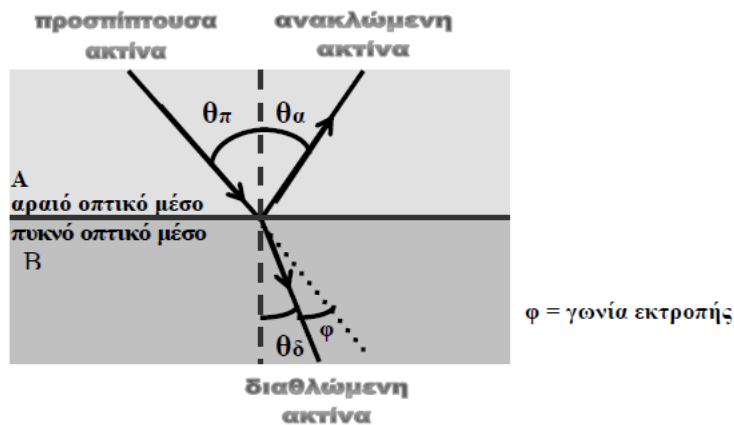
Ανάκλαση είναι το φαινόμενο κατά το οποίο το φως όταν διαδίδεται σε ένα οπτικό μέσο, συναντήσει τη διαχωριστική επιφάνεια δύο οπτικών μέσων, αλλάζει πορεία διάδοσης, επιστρέφοντας στο οπτικό μέσο στο οποίο διαδιδόταν, χωρίς να αλλάξουν η ταχύτητα και το μήκος κύματός του.

Διάθλαση είναι το φαινόμενο κατά το οποίο το φως όταν διαδίδεται σε ένα οπτικό μέσο, συναντήσει τη διαχωριστική επιφάνεια δύο οπτικών μέσων, εισερχόμενο στο δεύτερο οπτικό μέσο, αλλάζει πορεία διάδοσης, με ταυτόχρονη αλλαγή της ταχύτητας και του μήκους κύματός του.

Ειδικότερα :

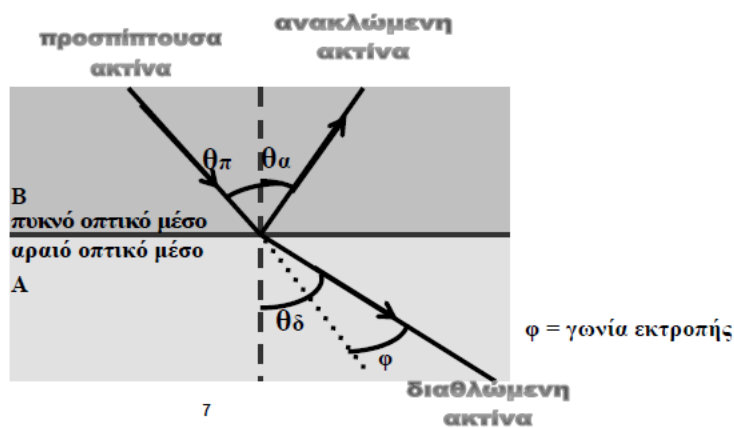
Όταν η ακτίνα περνά από οπτικά αραιότερο μέσο Α, σε οπτικά πυκνότερο μέσο Β, π.χ. από τον αέρα στο γυαλί, η διαθλώμενη ακτίνα πλησιάζει προς τη κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων και τότε ισχύει :

$$\theta_{\pi} = \theta_{\alpha} > \theta_{\delta}$$



ενώ όταν η ακτίνα περνά από οπτικά πυκνότερο μέσο Β, σε οπτικά αραιότερο μέσο Α, π.χ. από το νερό στον αέρα, η διαθλώμενη ακτίνα απομακρύνεται από την κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων και τότε ισχύει :

$$\theta_{\pi} = \theta_{\alpha} < \theta_{\delta}$$



Ταχύτητα και μήκος κύματος του φωτός μέσα στην ύλη

Γιατί το φως διαθλάται καθώς διέρχεται από το ένα οπτικό μέσο Α σε ένα άλλο οπτικό μέσο Β;

⇒ Επειδή η ταχύτητά του έχει διαφορετική τιμή στα δύο οπτικά μέσα Α και Β, λόγω της διαφορετικής οπτικής πυκνότητας των δύο οπτικών μέσων.

Κατά τη διάδοση του φωτός από ένα οπτικό μέσο Α σ' ένα άλλο Β, η συχνότητά του f παραμένει πάντα σταθερή και ίση με τη συχνότητα της πηγής. (επειδή το φως είναι κύμα, ο αριθμός κυμάτων ανά μονάδα χρόνου, που φτάνουν στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων είναι ίσος με τον αριθμό κυμάτων ανά μονάδα χρόνου που διέρχονται από αυτήν. Αλλιώς θα έπρεπε η επιφάνεια να παράγει ή να εξαφανίζει κύματα)

Άρα κατά τη διάδοση του φωτός από ένα οπτικό μέσο Α σ' ένα άλλο Β, αλλάζει η ταχύτητά και το μήκος κύματος του φωτός, ώστε το πηλίκο τους να μείνει σταθερό και ίσο με τη συχνότητα f, η οποία παραμένει σταθερή. όπως προκύπτει από τη σχέση $c = \lambda \cdot f \Rightarrow f = c/\lambda$

Κατά τη διάδοση του φωτός από το κενό σ' ένα άλλο οπτικό μέσο ισχύει :

$$n = \frac{c_0}{c}$$

όπου n ο δείκτης διάθλασης του υλικού μέσου

⇒ επειδή πάντα $c_0 > c$ είναι πάντα $n > 1$
Για το κενό είναι $n = 1$

Από τη σχέση :

$$n = \frac{c_0}{c} \Rightarrow n = \frac{\lambda_0 \cdot f}{\lambda \cdot f} \Rightarrow n = \frac{\lambda_0}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι : $n > 1 \Rightarrow \lambda_0 > \lambda$

- ✓ Μια μονοχρωματική ακτινοβολία έχει το μεγαλύτερο δυνατό μήκος κύματός της όταν διαδίδεται στο κενό.

$$\left. \begin{array}{l} n = \frac{c_0}{c} \\ n > 1 \end{array} \right| \Rightarrow \frac{c_0}{c} > 1 \Rightarrow c_0 > c$$

- ✓ Μια μονοχρωματική ακτινοβολία έχει τη μεγαλύτερη δυνατή ταχύτητά της όταν διαδίδεται στο κενό.

Συμπεράσματα

όταν $n \uparrow \Rightarrow c \downarrow$ και $\lambda \downarrow$ ενώ $f = \text{σταθερή}$

άρα όταν το φως διαδίδεται από αραιότερο σε πυκνότερο οπτικό μέσο έχουμε :

- ✓ αύξηση του n
- ✓ μείωση της c
- ✓ μείωση του λ

όταν $n \downarrow \Rightarrow c \uparrow$ και $\lambda \uparrow$ ενώ $f = \text{σταθερή}$

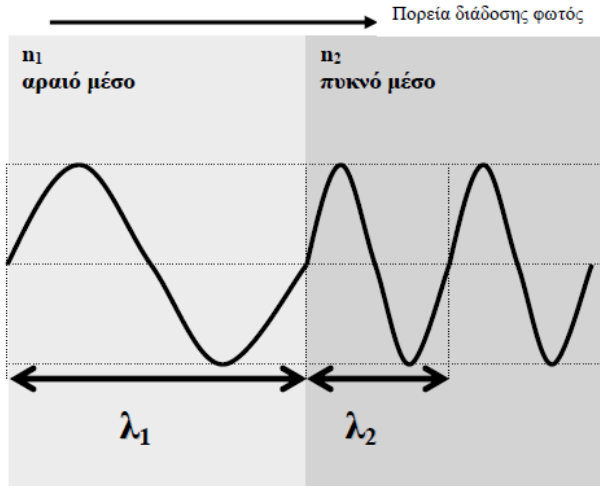
άρα όταν το φως διαδίδεται από πυκνότερο σε αραιότερο οπτικό μέσο έχουμε :

- ✓ μείωση του n
- ✓ αύξηση της c
- ✓ αύξηση του λ

Στο παρακάτω σχήμα

$$n_1 < n_2$$

$\rightarrow n \uparrow \quad c \downarrow \quad \lambda \downarrow$



$$n_1 < n_2 \Rightarrow \frac{\lambda_0}{\lambda_1} < \frac{\lambda_0}{\lambda_2} \Rightarrow \frac{1}{\lambda_1} < \frac{1}{\lambda_2} \Rightarrow \lambda_2 < \lambda_1$$

$$n_1 < n_2 \Rightarrow \frac{c_0}{c_1} < \frac{c_0}{c_2} \Rightarrow \frac{1}{c_1} < \frac{1}{c_2} \Rightarrow c_2 < c_1$$

$\leftarrow n \downarrow \quad c \uparrow \quad \lambda \uparrow$

- ☛ Για μία μονοχρωματική ακτινοβολία που διαδίδεται σε διαφορετικά οπτικά μέσα, με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 :

$$\frac{f_1}{f_2} = 1 \quad (1)$$

Η συχνότητα της ακτινοβολίας παραμένει σταθερή και ίση με τη συχνότητα της πηγής

Για μία μονοχρωματική ακτινοβολία που διαδίδεται σε διαφορετικά οπτικά μέσα, με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 : Ο λόγος των συχνοτήτων της ακτινοβολίας στα δύο οπτικά μέσα ισούται με τη μονάδα.

$$\frac{T_1}{T_2} = 1$$

Η συχνότητα της ακτινοβολίας παραμένει σταθερή και ίση με τη συχνότητα της πηγής, επομένως και η περίοδος παραμένει σταθερή

Για μία μονοχρωματική ακτινοβολία που διαδίδεται σε διαφορετικά οπτικά μέσα, με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 : Ο λόγος των περιόδων της ακτινοβολίας στα δύο οπτικά μέσα ισούται με τη μονάδα.

$$\frac{E_1}{E_2} = 1$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{h \cdot f_1}{h \cdot f_2} \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{f_1}{f_2} \stackrel{(1)}{\Rightarrow} \frac{E_1}{E_2} = 1$$

Για μία μονοχρωματική ακτινοβολία που διαδίδεται σε διαφορετικά οπτικά μέσα, με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 : Ο λόγος των ενεργειών της ακτινοβολίας στα δύο οπτικά μέσα ισούται με τη μονάδα.

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

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\frac{c_0}{c_1}}{\frac{c_0}{c_2}} \Rightarrow \frac{n_1}{n_2} = \frac{c_2}{c_1}$$

Για μία μονοχρωματική ακτινοβολία που διαδίδεται σε διαφορετικά οπτικά μέσα, με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 : Ο λόγος των δεικτών διάθλασης των δύο οπτικών μέσων ισούται με τον αντίστροφο λόγο (είναι αντιστρόφως ανάλογος με το λόγο) των ταχυτήτων στα δύο οπτικά μέσα.

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

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\frac{\lambda_0}{\lambda_1}}{\frac{\lambda_0}{\lambda_2}} \Rightarrow \frac{n_1}{n_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

Για μία μονοχρωματική ακτινοβολία που διαδίδεται σε διαφορετικά οπτικά μέσα, με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 : Ο λόγος των δεικτών διάθλασης των δύο οπτικών μέσων ισούται με τον αντίστροφο λόγο (είναι αντιστρόφως ανάλογος με το λόγο) των μηκών κύματος στα δύο οπτικά μέσα.

Χρήσιμες σημειώσεις για τη λύση ασκήσεων

- Ο δείκτης διάθλασης ενός οπτικού μέσου (διαφορετικού από το κενό) είναι πάντα μεγαλύτερος από το τη μονάδα. $n > 1$
- Για το κενό $n = 1$
- Μια μονοχρωματική ακτινοβολία έχει το μεγαλύτερο δυνατό μήκος κύματός της όταν διαδίδεται στο κενό.
- Μια μονοχρωματική ακτινοβολία έχει το μεγαλύτερο δυνατή ταχύτητά της όταν διαδίδεται στο κενό.
- Για μία μονοχρωματική ακτινοβολία που διαδίδεται σε διαφορετικά οπτικά μέσα, με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 :
Ο λόγος των συχνοτήτων της ακτινοβολίας στα δύο οπτικά μέσα ισούται με τη μονάδα.

$$\frac{f_1}{f_2} = 1$$

- Για μία μονοχρωματική ακτινοβολία που διαδίδεται σε διαφορετικά οπτικά μέσα, με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 :
Η διαφορά των συχνοτήτων της ακτινοβολίας στα δύο οπτικά μέσα ισούται με το μηδέν.

$$\Delta f = f_2 - f_1 = 0$$

- Για μία μονοχρωματική ακτινοβολία που διαδίδεται σε διαφορετικά οπτικά μέσα, με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 :
Ο λόγος των περιόδων της ακτινοβολίας στα δύο οπτικά μέσα ισούται με τη μονάδα.

$$\frac{T_1}{T_2} = 1$$

- Για μία μονοχρωματική ακτινοβολία που διαδίδεται σε διαφορετικά οπτικά μέσα, με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 :
Η διαφορά των περιόδων της ακτινοβολίας στα δύο οπτικά μέσα ισούται με το μηδέν.

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 0$$

- Για μία μονοχρωματική ακτινοβολία που διαδίδεται σε διαφορετικά οπτικά μέσα, με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 :
Ο λόγος των ενεργειών των φωτονίων της ακτινοβολίας στα δύο οπτικά μέσα ισούται με τη μονάδα.

$$\frac{E_1}{E_2} = 1$$

- Για μία μονοχρωματική ακτινοβολία που διαδίδεται σε διαφορετικά οπτικά μέσα, με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 :
Η διαφορά των ενεργειών των φωτονίων της ακτινοβολίας στα δύο οπτικά μέσα ισούται με το μηδέν.

$$\Delta E = E_2 - E_1 = 0$$

- όταν το φως διαδίδεται από αραιότερο σε πυκνότερο οπτικό μέσο

$$n \uparrow \Rightarrow c \downarrow \text{ και } \lambda \downarrow \text{ ενώ } f = \text{σταθερή}$$

έχουμε επομένως

- ✓ αύξηση του n και $\Delta n > 0$
- ✓ μείωση της c και $\Delta c < 0$
- ✓ μείωση του λ και $\Delta \lambda < 0$
- ✓ σταθερή την f και $\Delta f = 0$
- ✓ σταθερή την T και $\Delta T = 0$
- ✓ σταθερή την E και $\Delta E = 0$
- ✓ $\theta_{\Pi} = \theta_a > \theta_s$
- ✓ η διαθλώμενη ακτίνα πλησιάζει προς την κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο οπτικών μέσων

- όταν το φως διαδίδεται από πυκνότερο σε αραιότερο οπτικό μέσο

$$n \downarrow \Rightarrow c \uparrow \text{ και } \lambda \uparrow \text{ ενώ } f = \text{σταθερή}$$

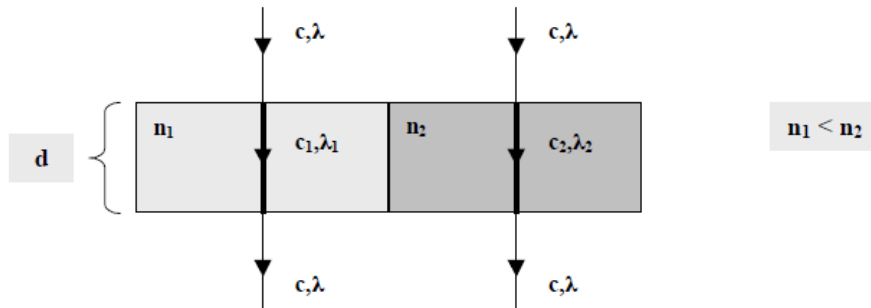
έχουμε επομένως

- ✓ μείωση του n και $\Delta n < 0$
- ✓ αύξηση της c και $\Delta c > 0$
- ✓ αύξηση του λ και $\Delta \lambda > 0$
- ✓ σταθερή την f και $\Delta f = 0$
- ✓ σταθερή την T και $\Delta T = 0$
- ✓ σταθερή την E και $\Delta E = 0$
- ✓ $\theta_{\Pi} = \theta_a < \theta_s$
- ✓ η διαθλώμενη ακτίνα απομακρύνεται από την κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο οπτικών μέσων

- όταν το φως διαδίδεται από ένα οπτικό μέσο σε δύο άλλα διαφορετικά οπτικά μέσα με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 , προσπίπτοντας κάθετα σε αυτά :

δεν έχουμε απόκλιση από την ευθύγραμμη πορεία του, αλλά έχουμε αλλαγή της ταχύτητας του c και αλλαγή του μήκους κύματός του λ .

Στα δύο οπτικά μέσα με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 , αντίστοιχα έχουμε διαφορετική ταχύτητα και διαφορετικό μήκος κύματος.



Στο παραπάνω σχήμα είναι $n_1 < n_2 \rightarrow c_1 > c_2 \rightarrow \lambda_1 > \lambda_2 \rightarrow t_1 < t_2$

- Η διαφορά ταχυτήτων στα δύο οπτικά μέσα είναι :

$$|\Delta c| = c_1 - c_2 = \frac{c_0}{n_1} - \frac{c_0}{n_2}$$

- Η % διαφορά ταχυτήτων στα δύο οπτικά μέσα ή το πόσο % είναι πιο γρήγορο το φως στο οπτικό μέσο 1 σε σχέση με το οπτικό μέσο 2 :

$$x = \frac{|\Delta c|}{c_1} \cdot 100\%$$

- Η διαφορά χρόνων εξόδου από τα δύο οπτικά μέσα είναι :

$$|\Delta t| = t_2 - t_1 = \frac{d}{c_2} - \frac{d}{c_1} = \frac{d}{\frac{c_0}{n_2}} - \frac{d}{\frac{c_0}{n_1}} = \frac{dn_2}{c_0} - \frac{dn_1}{c_0}$$

- Η % διαφορά χρόνων στα δύο οπτικά μέσα :

$$x = \frac{|\Delta t|}{t_1} \cdot 100\%$$

- Η διαφορά μηκών κύματος στα δύο οπτικά μέσα είναι :

$$|\Delta \lambda| = \lambda_1 - \lambda_2 = \frac{\lambda_0}{n_1} - \frac{\lambda_0}{n_2}$$

- Η % διαφορά μηκών κύματος στα δύο οπτικά μέσα :

$$x = \frac{|\Delta \lambda|}{\lambda_1} \cdot 100\%$$

- όταν το φως διαδίδεται από το κενό ή τον αέρα σε άλλο οπτικό μέσο με δείκτη διάθλασης n :

επειδή το φως διαδίδεται από αραιότερο σε πυκνότερο οπτικό μέσο έχουμε απόκλιση από την ευθύγραμμη πορεία του (εκτός αν προσπίπτει κάθετα) και μείωση της ταχύτητάς του c αλλά και τον μήκος κύματός του λ .

- Έστω ότι σε μία άσκηση δίνεται ότι το μήκος κύματος μεταβάλλεται (=μειώνεται) κατά το 1/4 της αρχικής του τιμής. Τότε είναι :

$$\lambda = \lambda_0 - \frac{1}{4}\lambda_0$$

- Έστω ότι σε μία άσκηση δίνεται ότι το μήκος κύματος μεταβάλλεται (=μειώνεται) κατά το 20% της αρχικής του τιμής. Τότε είναι :

$$\lambda = \lambda_0 - \frac{20}{100}\lambda_0$$

- Έστω ότι σε μία άσκηση δίνεται ότι το μήκος κύματος μεταβάλλεται (=μειώνεται) στα 3/4 της αρχικής του τιμής. Τότε είναι :

$$\lambda = \frac{3}{4}\lambda_0$$

- Έστω ότι σε μία άσκηση δίνεται ότι το μήκος κύματος μεταβάλλεται (=μειώνεται) στο 80% της αρχικής του τιμής. Τότε είναι :

$$\lambda = \frac{80}{100}\lambda_0$$

- Έστω ότι σε μία άσκηση δίνεται ότι η ταχύτητα μεταβάλλεται (=μειώνεται) κατά το 1/5 της αρχικής της τιμής. Τότε είναι :

$$c = c_0 - \frac{1}{5}c_0$$

- Έστω ότι σε μία άσκηση δίνεται ότι η ταχύτητα μεταβάλλεται (=μειώνεται) κατά το 25% της αρχικής της τιμής. Τότε είναι :

$$c = c_0 - \frac{25}{100}c_0$$

- Έστω ότι σε μία άσκηση δίνεται ότι η ταχύτητα μεταβάλλεται (=μειώνεται) στα 4/5 της αρχικής της τιμής. Τότε είναι :

$$c = \frac{4}{5}c_0$$

- Έστω ότι σε μία άσκηση δίνεται ότι η ταχύτητα μεταβάλλεται (=μειώνεται) στο 75% της αρχικής της τιμής. Τότε είναι :

$$c = \frac{75}{100}c_0$$

- Η % μεταβολή του μήκους κύματος και της ταχύτητας μπορεί να βρεθεί αντίστοιχα από τις σχέσεις :

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0} \cdot 100\%$$

$$\Delta c = \frac{c_0 - c}{c_0} \cdot 100\%$$

ή από μέθοδο των τριών :

σε μήκος κύματος λ_0 η μεταβολή του μήκους κύματος είναι $\lambda_0 - \lambda$
100 x ;

$$x = \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0} \cdot 100$$

σε ταχύτητα c_0 η μεταβολή της ταχύτητας είναι $c_0 - c$
100 x ;

$$x = \frac{c_0 - c}{c_0} \cdot 100$$

- όταν το φως διαδίδεται από ένα οπτικό μέσο με δείκτη διάθλασης n στο κενό ή τον αέρα:

επειδή το φως διαδίδεται από πυκνότερο σε αραιότερο οπτικό μέσο έχουμε απόκλιση από την ευθύγραμμη πορεία του (εκτός αν προσπίπτει κάθετα) και αύξηση της ταχύτητάς του c αλλά και του μήκους κύματός του λ .

- Έστω ότι σε μία άσκηση δίνεται ότι το μήκος κύματος μεταβάλλεται (=αυξάνεται) κατά το 1/4 της αρχικής του τιμής. Τότε είναι :

$$\lambda_0 = \lambda + \frac{1}{4}\lambda$$

- Έστω ότι σε μία άσκηση δίνεται ότι το μήκος κύματος μεταβάλλεται (=αυξάνεται) κατά το 20% της αρχικής του τιμής. Τότε είναι :

$$\lambda_0 = \lambda + \frac{20}{100}\lambda$$

- Έστω ότι σε μία άσκηση δίνεται ότι το μήκος κύματος μεταβάλλεται (=αυξάνεται) στα 5/4 της αρχικής του τιμής. Τότε είναι :

$$\lambda_0 = \frac{5}{4}\lambda$$

- Έστω ότι σε μία άσκηση δίνεται ότι το μήκος κύματος μεταβάλλεται (=αυξάνεται) στο 120% της αρχικής του τιμής. Τότε είναι :

$$\lambda_0 = \frac{120}{100} \lambda$$

- Έστω ότι σε μία άσκηση δίνεται ότι η ταχύτητα μεταβάλλεται (=αυξάνεται) κατά το 1/5 της αρχικής της τιμής. Τότε είναι :

$$c_0 = c + \frac{1}{5} c$$

- Έστω ότι σε μία άσκηση δίνεται ότι η ταχύτητα μεταβάλλεται (=αυξάνεται) κατά το 25% της αρχικής της τιμής. Τότε είναι :

$$c_0 = c + \frac{25}{100} c$$

- Έστω ότι σε μία άσκηση δίνεται ότι η ταχύτητα μεταβάλλεται (=αυξάνεται) στα 6/5 της αρχικής της τιμής. Τότε είναι :

$$c_0 = \frac{6}{5} c$$

- Έστω ότι σε μία άσκηση δίνεται ότι η ταχύτητα μεταβάλλεται (=αυξάνεται) στο 125% της αρχικής της τιμής. Τότε είναι :

$$c_0 = \frac{125}{100} c$$

- Η % μεταβολή του μήκους κύματος και της ταχύτητας μπορεί να βρεθεί αντίστοιχα από τις σχέσεις :

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0} \cdot 100\%$$

$$\Delta c = \frac{c_0 - c}{c_0} \cdot 100\%$$

ή από μέθοδο των τριών :

σε μήκος κύματος λ_0 η μεταβολή του μήκους κύματος είναι $\lambda_0 - \lambda$
102 x ;

$$x = \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0} \cdot 100$$

σε ταχύτητα c_0 η μεταβολή της ταχύτητας είναι $c_0 - c$
103 x ;

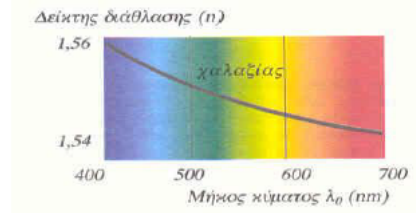
$$x = \frac{c_0 - c}{c_0} \cdot 100$$

1.4 Ανάλυση του λευκού φωτός και χρώματα

- Διασκεδασμός και πρίσματα

Στην προηγούμενη ενότητα είδαμε ότι η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι ίδια για όλα τα μήκη κύματος.

Συμβαίνει το ίδιο και στην διπλανή γραφική παράσταση:



Από τη γραφική παράσταση φαίνεται ότι ο δείκτης διάθλασης έχει διαφορετική τιμή για κάθε χρώμα και μάλιστα όσο μεγαλώνει το μήκος κύματος τόσο μικραίνει ο δείκτης διάθλασης

Επίσης φως μεγαλύτερου μήκους κύματος έχει μεγαλύτερη ταχύτητα σε ένα μέσο από φως μικρότερου μήκους κύματος.

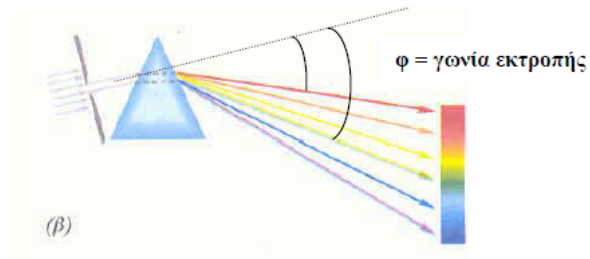
Ο δείκτης διάθλασης του μέσου δεν είναι σταθερός, αλλά εξαρτάται από το μήκος κύματος του φωτός.

Το φαινόμενο αυτό, δηλαδή η εξάρτηση της ταχύτητας του φωτός και του δείκτη διάθλασης από το μήκος κύματος, ονομάζεται **διασκεδασμός**.

- Ανάλυση του λευκού φωτός

Στο διπλανό σχήμα παρατηρούμε την ανάλυση του λευκού φωτός.

Ποιες είναι οι παρατηρήσεις μας;



Παρατηρούμε ότι το λευκό φως **αναλύεται** σε επιμέρους χρώματα σε μορφή ταινίας, που ονομάζεται **φάσμα του λευκού φωτός**.

Η γωνία ϕ ονομάζεται **γωνία εκτροπής** και εξαρτάται από το μήκος κύματος του χρώματος.

Τα χρώματα του φάσματος δεν αναλύονται σε άλλα απλούστερα και, αν τα ανασυνθέσουμε, θα αναπαράγουμε το λευκό φως.

Συμπεράσματα:

- Κάθε μονοχρωματική ακτίνα φωτός, όταν διαδίδεται σε ένα συγκεκριμένο οπτικό μέσο, χαρακτηρίζεται από ένα μοναδικό μήκος κύματος, που είναι η ταυτότητα του χρώματος για το μέσο αυτό.
- Ο δείκτης διάθλασης του οπτικού μέσου έχει διαφορετική τιμή για κάθε χρώμα και μάλιστα όσο μεγαλώνει το μήκος κύματος τόσο μικραίνει ο δείκτης διάθλασης.
- Η γωνία εκτροπής κάθε χρώματος, όταν αυτό διέρχεται από οπτικό μέσο, εξαρτάται από το μήκος κύματος του χρώματος και όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος κύματος τόσο μικρότερη είναι η γωνία εκτροπής.

Σε κάποιο οπτικό μέσο (διαφορετικό του κενού) :

$\lambda_{\text{ερυθρού}} > \lambda_{\text{πορτοκαλί}} > \lambda_{\text{κίτρινου}} > \lambda_{\text{πράσινου}} > \lambda_{\text{γαλάζιου}} > \lambda_{\text{ιώδους}}$

$c_{\text{ερυθρού}} > c_{\text{πορτοκαλί}} > c_{\text{κίτρινου}} > c_{\text{πράσινου}} > c_{\text{γαλάζιου}} > c_{\text{ιώδους}}$

$n_{\text{ερυθρού}} < n_{\text{πορτοκαλί}} < n_{\text{κίτρινου}} < n_{\text{πράσινου}} < n_{\text{γαλάζιου}} < n_{\text{ιώδους}}$

$f_{\text{ερυθρού}} < f_{\text{πορτοκαλί}} < f_{\text{κίτρινου}} < f_{\text{πράσινου}} < f_{\text{γαλάζιου}} < f_{\text{ιώδους}}$

Οι μονοχρωματικές ακτινοβολίες με μεγάλο μήκος κύματος λ :

έχουν μεγάλη ταχύτητα c , μικρό δείκτη διάθλασης n και μικρή γωνία εκτροπής φ

Οι μονοχρωματικές ακτινοβολίες με μικρή συχνότητα f :

έχουν μεγάλη ταχύτητα c , μικρό δείκτη διάθλασης n και μικρή γωνία εκτροπής φ

Οι μονοχρωματικές ακτινοβολίες με μικρή ενέργεια E :

έχουν μεγάλη ταχύτητα c , μικρό δείκτη διάθλασης n και μικρή γωνία εκτροπής φ

- Ουράνιο τόξο - Τα χρώματα της φύσης
Στο ουράνιο τόξο έχουμε συνδυασμό δύο φαινομένων, του διασκεδασμού και της ολικής ανάκλασης.
- Υπεριώδης και υπέρυθη ακτινοβολία

Υπεριώδης ακτινοβολία

Το ορατό φως, δηλαδή τα μήκη κύματος που αντιλαμβάνεται το μάτι μας, έχει όρια και τα χρώματά του έχουν μήκη κύματος που κυμαίνονται μεταξύ 400nm του ιώδους και 700nm του ερυθρού. Αυτό όμως δε σημαίνει ότι το φάσμα του λευκού φωτός, που εκπέμπει η φωτεινή πηγή, περιορίζεται σε αυτά τα όρια.

Αν παρατηρήσουμε με ειδικό φασματογράφο τη φωτογραφική πλάκα στην οποία αποτυπώνεται το φάσμα, θα διαπιστώσουμε ότι πέρα από το όριο της ιώδους περιοχής η πλάκα έχει **αμαυρωθεί**.

Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, εκτός από την ακτινοβολία της ορατής περιοχής του φάσματος, υπάρχει και ακτινοβολία αόρατη, η οποία βρίσκεται πέρα από την ιώδη περιοχή.

Η ακτινοβολία αυτή ονομάζεται υπεριώδης ακτινοβολία.

Η **υπεριώδης ακτινοβολία** αποτελείται από ακτινοβολίες που έχουν μήκη κύματος μικρότερα των **400nm** και μεγαλύτερα του **1nm** περίπου.

Ιδιότητες υπεριώδους ακτινοβολίας

1. Προκαλεί αμαύρωση των φωτογραφικών πλακών.
2. Προκαλεί το φθορισμό σε διάφορα σώματα, όταν δηλαδή προσπίπτει σε ορισμένα σώματα, τότε αυτά εκπέμπουν χαρακτηριστικές ορατές ακτινοβολίες.
3. Συμμετέχει στη μετατροπή του οξυγόνου της ατμόσφαιρας σε όζον.
4. Όταν απορροφάται από υλικά σώματα (όπως άλλωστε και οι ακτίνες οποιουδήποτε χρώματος), προκαλεί τη θέρμανσή τους.
5. Υπεριώδης ακτινοβολία με πολύ μικρό μήκος κύματος προκαλεί βλάβες στα κύτταρα του δέρματος, οι οποίες μπορεί να είναι τέτοιες, ώστε να οδηγήσουν και στην εμφάνιση καρκίνου. Κατά τη διάρκεια της ηλιοθεραπείας το μαύρισμα του δέρματος οφείλεται στη μελανίνη που παράγει ο οργανισμός, για να προστατευθεί από την υπεριώδη ακτινοβολία.
6. Χρησιμοποιείται στην Ιατρική για πλήρη αποστείρωση διάφορων εργαλείων.

Υπέρυθρη ακτινοβολία

Αναλύοντας το λευκό φως ενός λαμπτήρα πυρακτώσεως πάνω σε πέτασμα παίρνουμε το φάσμα του. Αν τοποθετήσουμε ένα ευαίσθητο θερμόμετρο πάνω στο πέτασμα και το μετακινήσουμε από το ιώδες προς το ερυθρό, θα παρατηρήσουμε τη θερμοκρασία του να αυξάνεται. Πιο πέρα από το ερυθρό η ένδειξη είναι ακόμη μεγαλύτερη.

Μετά την ερυθρή περιοχή του φάσματος υπάρχει αόρατη ακτινοβολία, που **προκαλεί έντονη αύξηση της θερμοκρασίας** των στερεών και υγρών σωμάτων. Η ακτινοβολία αυτή ονομάζεται **υπέρυθρη ακτινοβολία**.

Επειδή η υπέρυθη ακτινοβολία είναι αόρατη, για την ανίχνευσή της υπάρχουν ειδικά όργανα, οι **φορατές υπερύθρου**.

Η αρχή λειτουργίας των φορατών βασίζεται στην απορρόφηση ενέργειας των υπερυθρών ακτινοβολιών και στη συνέχεια στη μετατροπή της σε άλλες μορφές.

Οι **υπέρυθρες ακτινοβολίες** έχουν μήκη κύματος που κυμαίνονται μεταξύ **700nm** και **10⁶ nm**.

Ιδιότητες υπερυθρών ακτινοβολιών

1. Απορροφώνται επιλεκτικά από διάφορα σώματα και προκαλούν αύξηση της θερμοκρασίας τους.
2. Διέρχονται μέσα από την ομίχλη και τα σύννεφα (δεν απορροφώνται από αέρια)
3. Δεν έχουν χημική δράση και δεν προκαλούν φωσφορισμό.

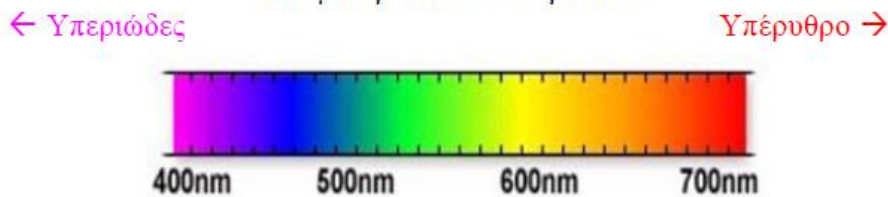
Εφαρμογές υπερυθρών

Η χρήση των υπερυθρών βασίζεται στην εκλεκτικότητά τους να απορροφώνται από την ύλη.

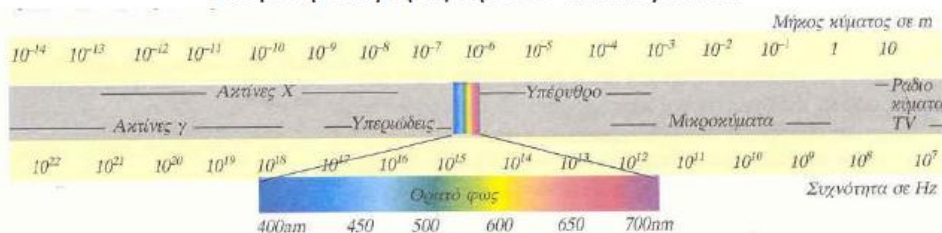
Στην Ιατρική, για παράδειγμα, δέσμη υπερυθρης ακτινοβολίας μεταδίδει θερμότητα σε ορισμένη περιοχή του σώματος.

Επίσης με ειδικές φωτογραφικές μηχανές πετυχαίνεται φωτογράφιση ακόμη και όταν υπάρχει συννεφιά ή ομίχλη.

Φάσμα ορατών ακτινοβολιών



Φάσμα ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών



Ομοιότητες και διαφορές μεταξύ υπεριώδων και υπέρυθρων

Ομοιότητες

- Και οι δύο είναι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες.
- Και οι δύο είναι αόρατες.
- Και οι δύο προκαλούν θέρμανση των σωμάτων από τα οποία απορροφώνται.
- Χρησιμοποιούνται στην Ιατρική, αλλά για διαφορετικό σκοπό.

Διαφορές :

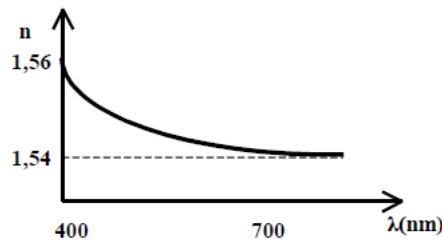
- Οι υπεριώδεις έχουν μικρά μήκη κύματος και οι υπέρυθρες μεγάλα μήκη κύματος.
- Οι υπεριώδεις έχουν μεγάλη συχνότητα και οι υπέρυθρες μικρή συχνότητα.
- Οι υπεριώδεις έχουν μεγάλη ενέργεια και οι υπέρυθρες μικρή ενέργεια.
- Οι υπεριώδεις προκαλούν φθορισμό και οι υπέρυθρες δεν προκαλούν φωσφορισμό.
- Οι υπεριώδεις προκαλούν αμαύρωση των φωτογραφικών πλακών ενώ οι υπέρυθρες όχι.
- Οι υπεριώδεις έχουν χημική δράση ενώ οι υπέρυθρες όχι.
- Οι υπεριώδεις χρησιμοποιούνται στην Ιατρική για αποστείρωση ιατρικών εργαλείων ενώ οι υπέρυθρες για μετάδοση θερμότητας σε ορισμένες περιοχές του σώματος.

Χρήσιμες σημειώσεις για τη λύση ασκήσεων

- Ο δείκτης διάθλασης έχει διαφορετική τιμή για κάθε χρώμα και μάλιστα όσο μεγαλώνει το μήκος κύματος τόσο μικραίνει ο δείκτης διάθλασης
- Φως μεγαλύτερου μήκους κύματος έχει μεγαλύτερη ταχύτητα σε ένα μέσο από φως μικρότερου μήκους κύματος.
- Σε κάποιο οπτικό μέσο (διαφορετικό του κενού) :
 $\lambda_{\text{ερυθρού}} > \lambda_{\text{πορτοκαλί}} > \lambda_{\text{κίτρινου}} > \lambda_{\text{πράσινου}} > \lambda_{\text{γαλάζιου}} > \lambda_{\text{ιώδους}}$
 $\epsilon_{\text{ερυθρού}} > \epsilon_{\text{πορτοκαλί}} > \epsilon_{\text{κίτρινου}} > \epsilon_{\text{πράσινου}} > \epsilon_{\text{γαλάζιου}} > \epsilon_{\text{ιώδους}}$
 $\mu_{\text{ερυθρού}} < \mu_{\text{πορτοκαλί}} < \mu_{\text{κίτρινου}} < \mu_{\text{πράσινου}} < \mu_{\text{γαλάζιου}} < \mu_{\text{ιώδους}}$
 $\phi_{\text{ερυθρού}} < \phi_{\text{πορτοκαλί}} < \phi_{\text{κίτρινου}} < \phi_{\text{πράσινου}} < \phi_{\text{γαλάζιου}} < \phi_{\text{ιώδους}}$
- Οι μονοχρωματικές ακτινοβολίες με μεγάλο μήκος κύματος λ :
 έχουν μεγάλη ταχύτητα c μικρό δείκτη διάθλασης n μικρή γωνία εκτροπής ϕ
- Οι μονοχρωματικές ακτινοβολίες με μικρή συχνότητα f :
 έχουν μεγάλη ταχύτητα c μικρό δείκτη διάθλασης n μικρή γωνία εκτροπής ϕ
- Οι μονοχρωματικές ακτινοβολίες με μικρή ενέργεια E :
 έχουν μεγάλη ταχύτητα c μικρό δείκτη διάθλασης n μικρή γωνία εκτροπής ϕ
- Μια **μονοχρωματική ακτινοβολία είναι ορατή** όταν το μήκος κύματός της λ_0 είναι μεταξύ 400nm και 700nm. Δηλαδή όταν :

$$400\text{nm} \leq \lambda_{\text{ορατών}} = \lambda_0 \leq 700\text{nm}$$

- Η γραφική παράσταση μήκους κύματος – δείκτη διάθλασης είναι :



- Η γραφική παράσταση συχνότητας – δείκτη διάθλασης είναι :

