

## A] Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα

☑ Τι είναι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα

Πρόκειται για μια σύνθεση που μπορεί να περιγραφεί με όρους ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου. Πράγματι τα διανύσματα  $\vec{E}$  (ένταση ηλεκτρικού πεδίου) και  $\vec{B}$  (ένταση μαγνητικού πεδίου) είναι ικανά να αισθητοποιήσουν τα κύματα, αλλά και να περιγράψουν τις ιδιότητες των!

Τα διανύσματα  $\vec{E}$  και  $\vec{B}$  είναι κάθετα μεταξύ τους και κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης. Σε κάθε σημείο εμφανίζονται συμφασικά. Μεταβάλλονται δε αρμονικά στον χώρο<sup>1</sup> και στον χρόνο<sup>2</sup>.

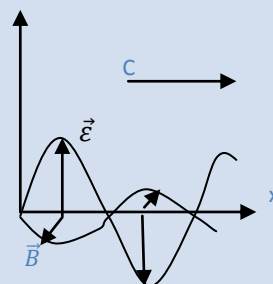
Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στο κενό, αλλά και εντός των υλικών. Στο κενό κάθε ηλεκτρομαγνητικό κύμα ταξιδεύει με τη γνωστή  $\max$  ταχύτητα  $C_0 = 3 \cdot 10^8 \text{ m/sec}$

Η **συχνότητα** είναι –ίσως- το πλέον βασικό μέγεθος των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Αυτή καθορίζει αν ένα κύμα είναι ορατό ή όχι. Αυτή καθορίζει αν το κύμα είναι βλαβερό για ένα ζωντανό οργανισμό ή αβλαβές (ακτίνες X, ακτίνες γ, μικροκύματα,...)

Η **συχνότητα** δεν αλλάζει από την στιγμή που θα γεννηθεί ένα κύμα, μέχρι να πάψει να υπάρχει λόγω απορρόφησης από την ύλη !

Η συχνότητα (f) συνδέεται με την περίοδο (T) μέσω της σχέσης  $f=1/T$ .

Μονάδα μέτρησης συχνότητας είναι το 1Hz.



**Τα Ηλεκτρομαγνητικά κύματα στη καθημερινότητα :**

- ✚ Στηρίζουν σχεδόν αποκλειστικά τις επικοινωνίες (TV, radio, radar,...).
- ✚ Κάνουν ορατά τα αντικείμενα...
- ✚ Παίζουν κυρίαρχο ρόλο στη φωτοσύνθεση...
- ✚ Μας πληροφορούν – μέσω των φασμάτων- για τον συμπαντικό κόσμο.
- ✚ Εμφανίζουν εφαρμογές και στην ιατρική (Laser, ραδιοϊσότοπα,...)

<sup>1</sup> Δείτε τη αλγεβρική τιμή των διανυσμάτων  $\vec{E}$  και  $\vec{B}$  πώς αλλάζει από θέση σε θέση πάνω στην ευθεία διάδοσης:  $0 \rightarrow +\max \rightarrow 0 \rightarrow -\max \rightarrow 0$  κ.ο.κ !

<sup>2</sup> Τα διανύσματα  $\vec{E}$  και  $\vec{B}$  δεν είναι σταθερά σε κάποια θέση αφού αλλάζουν επίσης αρμονικά. Πχ μετά από  $T/4$  το διάνυσμα  $\vec{E}$  από τιμή  $+\max$  θα μηδενιστεί,...

**Θεμελιώδης εξίσωση κυματικής :** Η συχνότητα και το μήκος κύματος ( $\lambda$ ) συνδέονται με την σχέση  $C=\lambda \cdot f$  που είναι γνωστή με το όνομα θεμελιώδης εξίσωση της κυματικής.

Σε απόσταση ίση με ένα μήκος κύματος  $\lambda$ , το κύμα «διαμορφώνει» μία έξαρση και μια κοιλάδα.

Απόδειξη της (1) :

Η κυματική διαταραχή διαδίδεται σε ομογενές υλικό με σταθερή ταχύτητα, που σχετίζεται βεβαίως με το υλικό. Άρα ισχύει η εξίσωση της ισοταχούς διάδοσης

$$\Delta x = v \cdot \Delta t \xrightarrow{\text{άμα } \Delta t = T, \text{ τότε } \Delta x = \lambda} \lambda = v \cdot T \rightarrow v = \lambda \cdot f$$

#### Πως παράγονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα

Τα κύματα –όπως τα περιγράψαμε παραπάνω- παράγονται από ταλαντευόμενα φορτία σε αγωγούς (κεραίες !)

Τα κύματα αυτά λέγονται και **κύματα Maxwell**.

## B] Θεωρίες φωτός

#### Λεύκιππος - Δημόκριτος

Το φώς είναι σωματίδια που εκπέμπονται από το φωτισμένο αντικείμενο με τεράστια ταχύτητα...

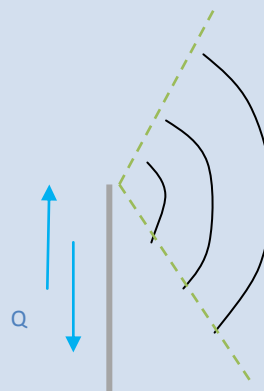
#### Νεύτωνας

Δέχεται την θεωρία **Λεύκιππου - Δημόκριτου**, αλλά με πρόσθετο γνώρισμα ότι τα σωματίδια είναι ελαστικά. Έτσι απλά ερμηνεύεται η ανάκλαση του φωτός !

#### Θεμελιώδης εξίσωση κυμάτων

$$C = \lambda \cdot f \quad (1)$$

Το **μήκος κύματος  $\lambda$**  εκφράζει την απόσταση που διανύει το κύμα σε κάποιο υλικό ή στο κενό, εντός χρόνου  $T$ .



Το φορτίο  $Q$  ταλαντώνεται πάνω – κάτω στον αγωγό (κεραία), με μεγάλη  $f$

**Χούκενς - Γιάνκ<sup>(\*)</sup>**

Το φως είναι εγκάρσιο κύμα.

**Θεωρία Maxwell**

Το φως είναι εγκάρσια ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Είναι τα κύματα που περιγράψαμε ήδη.

**Θεωρία Plank<sup>(\*\*)</sup>**

Το φως είναι σμήνος από κβαντικές οντότητες. Πρόκειται για μορφώματα που ονομάζονται φωτόνια<sup>3</sup>. Τα φωτόνια εκπέμπονται από τα άτομα της ύλης. Δεν υπάρχουν ακίνητα φωτόνια. Διαθέτουν ενέργεια ίση με  $E=h \cdot f$

Όπου  $f$  είναι η συχνότητα της ακτινοβολίας και  $h$  μια νέα σταθερά, γνωστή με το όνομα-σήμερα- σταθερά του Plank.

**Σημερινή αντίληψη περί φωτός**

Σήμερα πιστεύουμε ότι το φως έχει διπλή φύση. Όταν διαδίδεται συμπεριφέρεται ως κύμα Maxwell, ενώ όταν αλληλεπιδρά με την ύλη εκδηλώνει την κβαντική του χροιά.

Οι δυο απόψεις πρέπει να εκληφθούν ως συμπληρωματικές. Η μια δεν αναιρεί την άλλη.

Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι φως λέμε εκείνα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που ανιχνεύονται από το μάτι. Φως είναι το ορατό ηλεκτρομαγνητικό κύμα...

(\*) Την εποχή των Χ-Γ, η επιστημονική κοινότητα είχε μελετήσει δυο κυματικά φαινόμενα. Τη συμβολή και την περίθλαση. Τα φαινόμενα αυτά απαιτούσαν εγκάρσια μηχανικά κύματα. Το φως έδινε αυτά τα φαινόμενα, άρα το φως δεν είναι κινούμενα σωματίδια, αλλά έχει συμπεριφορά εγκάρσιων κυμάτων !

(\*\*) Ένα μέγεθος θα είναι κβαντισμένο, όταν παίρνει διακριτές τιμές, εμφανίζει δηλαδή ασυνέχεια. Η εκπεμπόμενη ενέργεια, άρα και η ενέργεια που είτε διαδίδεται είτε απορροφάται, μπορεί να εμφανίζει μόνο διακριτές τιμές που είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της ενέργειας του ενός φωτονίου. Δεν μπορεί να εκπεμφθεί ενέργεια π.χ 3,5 φωτονίων !

Η ενέργεια λοιπόν των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι κβαντισμένη και αυτό οδήγησε σε μια επανάσταση στο χώρο της φυσικής.

(Η κβαντική θεωρία είναι – ίσως- η μεγαλύτερη σύλληψη του ανθρώπινου πνεύματος)

<sup>3</sup> Τα φωτόνια είναι οντότητες που μέσω ιδιοτήτων που έχουν, μας γίνονται «κατανοητά».

## Γ] Διάδοση του φωτός

### Ανάκλαση και διάθλαση φωτός

Όταν μια λεπτή δέσμη φωτός που διαδίδεται ευθύγραμμα σε κάποιο μέσο, συναντήσει τη διαχωριστική επιφάνεια που χωρίζει το μέσο με κάποιο άλλο, τότε :

(α) Ένα μέρος της δέσμης θα ανακλαστεί, δηλ. θα αλλάξει πορεία κινούμενη στο αρχικό μέσο. (Ανάκλαση) Πάντα στην ανάκλαση ισχύει η σχέση  $\hat{\alpha} = \hat{\pi}$

(β) Το υπόλοιπο μέρος της δέσμης εισέρχεται στο δεύτερο μέσο, αλλάζοντας όμως διεύθυνση διάδοσης. (Διάθλαση) Για την γωνία διάθλασης  $\delta$  ισχύει γενικά  $\delta \neq \hat{\pi}$

### Που οφείλεται το φαινόμενο της διάθλασης

Το φως όταν αλλάζει μέσο διάδοσης, η ταχύτητά του μεταβάλλεται! Αυτή η μεταβολή έχει ως συνέπεια την αλλαγή πορείας της λεπτής φωτεινής δέσμης.

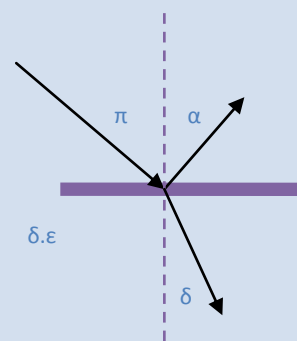
### Φαινόμενη ανύψωση αντικειμένου

Το μάτι μας έχει πάντα την αίσθηση ότι το αντικείμενο ευρίσκεται στην προέκταση της ευθείας που εισέρχεται στο μάτι! Αυτό οδηγεί στην λεγόμενη φαινόμενη ανύψωση, όταν για παράδειγμα το μάτι είναι στον αέρα, ενώ το αντικείμενο μέσα σε νερό.

### Φως εισέρχεται από το κενό σε κάποιο υλικό.

(α) Η συχνότητα δεν αλλάζει !

(β) Ταχύτητα (C) και μήκος κύματος ( $\lambda$ ) μειώνονται!



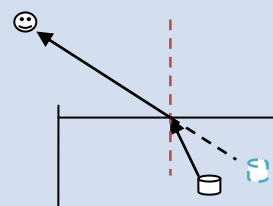
$\pi$  : γωνία προσπτώσεως

$\alpha$  : γωνία ανάκλασης

$\delta$  : γωνία διάθλασης

δ.ε. : διαχωριστική επιφάνεια.

Μάτι



☑ **Δείκτης διάθλασης υλικού**

Ήδη αναφέρθηκε ότι η ταχύτητα διάδοσης μεταβάλλεται, όταν φως αλλάζει μέσο διάδοσης. Έστω  $C_0$  η ταχύτητα διάδοσης στο κενό και  $C$  η ταχύτητα στο υλικό.

- Λέμε εξ ορισμού:  $n = \frac{C_0}{C}$
- Το  $n$  ονομάζεται δείκτης διάθλασης του υλικού για την συγκεκριμένη ακτινοβολία, η οποία εισήλθε στο υλικό.
- Ο δείκτης διάθλασης είναι καθαρός αριθμός
- Πάντα μεγαλύτερος της μονάδας.
- Για το κενό και για τον ατμοσφαιρικό αέρα  $n=1$ .

☑ **Οπτικά πυκνότερο & οπτικά αραιότερο υλικό.**

Έστω δυο υλικά A και B. Αν το υλικό A έχει μεγαλύτερο δ.δ. από το υλικό B, τότε το A λέγεται οπτικά πυκνότερο του B.

Όταν φως πηγαίνει από οπτικά αραιότερο σε οπτικά πυκνότερο, τότε μειώνει και ταχύτητα και μήκος κύματος.

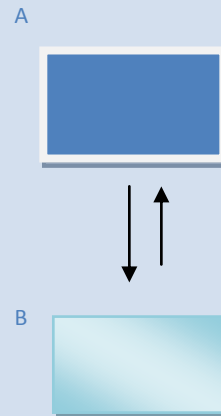
☑ **Η διάθλαση και ο δείκτης διάθλασης ( $n$ )**

Όταν φως πηγαίνει από οπτικά αραιότερο σε οπτικά πυκνότερο, τότε  $\delta < \pi$ . Ισχύει και το αντίστροφο.

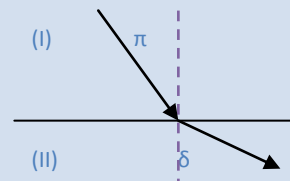
Ποιο υλικό είναι το οπτικά αραιότερο ;

Εκείνο το υλικό όπου το φως εμφανίζει τη max ταχύτητα. Δηλαδή το κενό !

Αφού  $n > 1$ , από τη σχέση ορισμού, προκύπτει ότι το φως στο κενό έχει την μεγαλύτερη ταχύτητα.



Το φως στο B «τρέχει» πιο γρήγορα και εμφανίζει μεγαλύτερο μήκος κύματος



Το υλικό (I) είναι οπτικά πυκνότερο του (II)...

**Δυο σημαντικές αποδείξεις**

(I) Να αποδείξετε ότι:  $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$

Ξεκινάμε από τον ορισμό του δ.δ. :  $n = \frac{c_0}{c} \rightarrow n = \frac{\lambda_0 \cdot f}{\lambda \cdot f} \rightarrow n = \frac{\lambda_0}{\lambda} \rightarrow \text{o. ε. δ.}$

(II) Να αποδείξετε ότι μια ακτινοβολία, όταν αλλάζει μέσο διάδοσης, τότε στο οπτικά αραιότερο, «τρέχει» πιο γρήγορα.

Ξεκινάμε με στόχο να εκμεταλευτούμε «...στο οπτικά πυκνότερο». Υποθέτουμε ότι το A είναι οπτικά πυκνότερο του B.

$$n_A > n_B \rightarrow \frac{c_0}{c_A} > \frac{c_0}{c_B} \rightarrow \frac{1}{c_A} > \frac{1}{c_B} \rightarrow c_A < c_B \rightarrow \text{o. ε. δ.}$$

(III) Μόνοι σας δείξτε ότι στο οπτικά αραιότερο υλικό, το φως –και κάθε ηλεκτρομαγνητικό κύμα- εμφανίζει μεγαλύτερο μήκος κύματος.

## Δ] Ανάλυση του λευκού φωτός και χρώματα

**Λευκό φως**

Έτσι λέμε το σύνολο του ορατού. Ανιχνεύεται με το μάτι. Εκπέμπεται από τα άστρα και τα πυρακτωμένα στερεά. Στο κενό τα μήκη κύματος είναι ανάμεσα στα 400nm και 700nm.

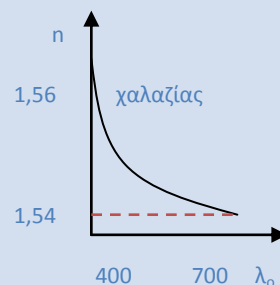
**Διασκεδασμός**

Κάθε υλικό δεν εμφανίζει μόνο ένα δείκτη διάθλασης, αλλά ένα διαφορετικό για διαφορετική συχνότητα που θα εισέλθει στο υλικό!

Δίπλα το υλικό το διάγραμμα «λέει» ότι ο χαλαζίας για τα 400nm εμφανίζει δ.δ. ίσο με 1,56 ενώ για τα 700nm εμφανίζει 1,54!

Συνέπειες του διασκεδασμού : Η ανάλυση του φωτός, το ουράνιο τόξο, ...

$$1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$$

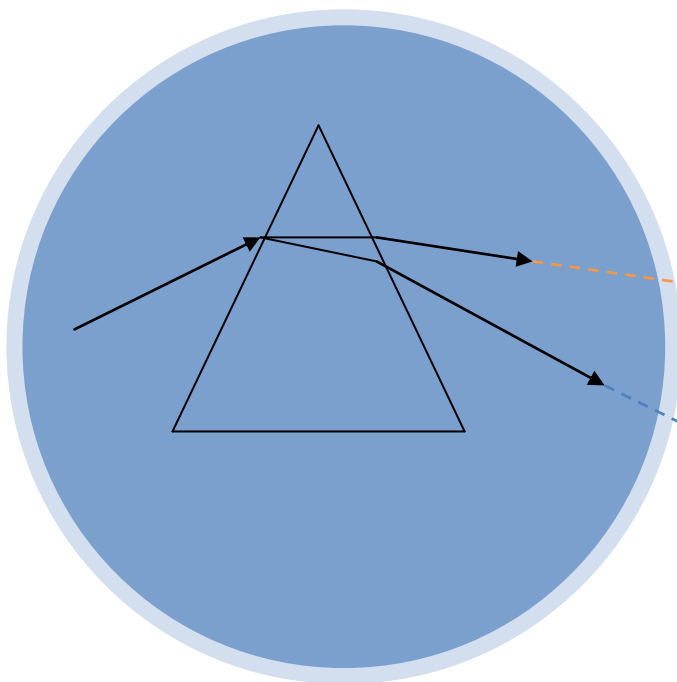


### ☑ **Ανάλυση του λευκού φωτός**

Γίνεται με τα οπτικά πρίσματα. Κατά την ανάλυση το λευκό φως δίνει χρωματικές ζώνες (χρωματικές ταινίες). Αυτές οι ταινίες αποτελούν το **φάσμα του λευκού φωτός**.

Το φάσμα του λευκού φωτός αποτελείται από τις εξής χρωματικές ταινίες: Ερυθρή (κάτω όριο τα 400nm), κίτρινη, πράσινη, μπλε και ιώδης(άνω όριο τα 700nm).

Προσοχή ! Τα χρώματα δεν αναλύονται.

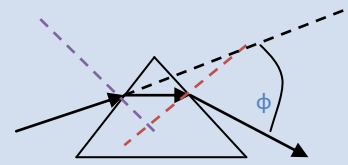


Στο σχήμα φαίνεται ότι το ιώδες φως υφίσταται πιο έντονη εκτροπή, σε σχέση με τα υπόλοιπα χρώματα του φάσματος του λευκού φωτός.

### ☑ **Ουράνιο τόξο**

Οφείλεται στον διασκεδασμό, όταν το λευκό φως συναντήσει τα σταγονίδια στην ατμόσφαιρα. Για να παρατηρηθεί το φαινόμενο, πρέπει η γωνία Ήλιος-σύννεφο-παρατηρητής να έχει τιμές  $40^\circ$  έως  $42^\circ$ .

Πορεία ακτίνας σε πρίσμα με τριγωνική τομή.



Δείτε τη συνολική εκτροπή φ !

Ερυθρή ζώνη

Κίτρινη

Πράσινη

Μπλε

Ιώδης

Η διαφορετική εκτροπή – λόγω διαφορετικού δ.δ.- οδηγεί στην ανάλυση του λευκού φωτός.

## Ε] Υπεριώδης και Υπέρυθρη ακτινοβολία

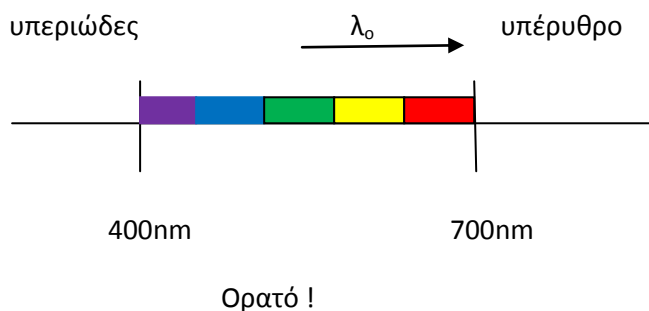
### (I) Υπεριώδης

- Προκαλεί αμαύρωση φωτογραφικών πλακών
- Προκαλεί φθορισμό κάποιων υλικών
- Μετατρέπει το οξυγόνο σε όζον
- Θερμαίνει την άβια ύλη
- Προκαλεί βλάβες στον οργανισμό πχ καρκίνο του δέρματος
- Αποστειρώνει ιατρικά εργαλεία

### (II) Υπέρυθρη

- Προκαλεί τη θέρμανση των υλικών
- Διέρχεται από τα σύννεφα και την ομίχλη
- Δεν έχει χημική δράση. Δεν προκαλεί φωσφορισμό.

### Τμήμα «χάρτη» του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος



Υπεριώδης = υπερ του  
ιώδους

Μήκη κύματος < 400nm

Αόρατη

Υπέρυθρη = υπο του  
ερυθρού

Μήκη κύματος > 700nm

Αόρατη

Δίπλα βλέπετε τον «χάρτη», ώστε να προσανατολιζέστε στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.