Φυση και Ιδιοτητες του Φωτος

Ηλεκτρομαγνητικα Κυματα & Φως

Διδακτικοι Στοχοι

- Να κατανοήσετε το φως ως εγκάρσιο ηλεκτρομαγνητικό κύμα.
- Να γνωρίζετε τις βασικές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.
- Να καταλάβετε ορισμένες βασικές αρχές για τα χρώματα.
- Να γνωρίζετε τι είναι το πολωμένο φως, πως παράγεται και πως ανιχνεύεται.
- Να γνωρίζετε το νόμο του Malus για το πολωμένο φως.

Αντιστοιχιση Στις Ενοτητες των Προτεινομενων Βιβλιων

- Από το βιβλίο του J. Newman «Φυσική της Ζωής» την §19.1, 19.4, 19.3.
- Από το βιβλίο των Freedman /Ruskell / Kesten/ Tauck «Βασικές Αρχές Φυσικής στις Επιστήμες Υγείας» την §22.1, 22.2, 23.5.

ΦΩΣ

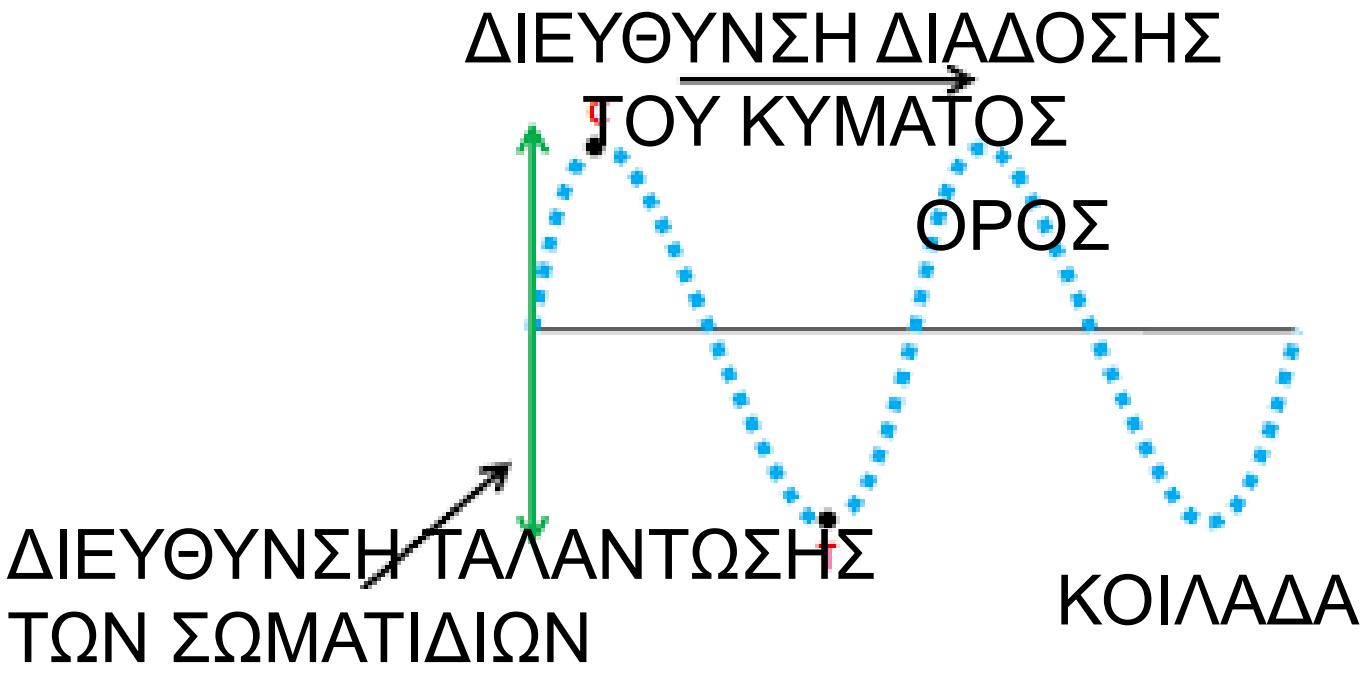
- Το φως είναι ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΚΥΜΑ.

Εγκαρσια & Διαμηκη Κυματα

- Οδεύοντα κύματα είναι διαταραχές που διαδίδονται στο χώρο.
- Τα οδεύοντα κύματα χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες τα ΕΓΚΑΡΣΙΑ και τα ΔΙΑΜΗΚΗ.

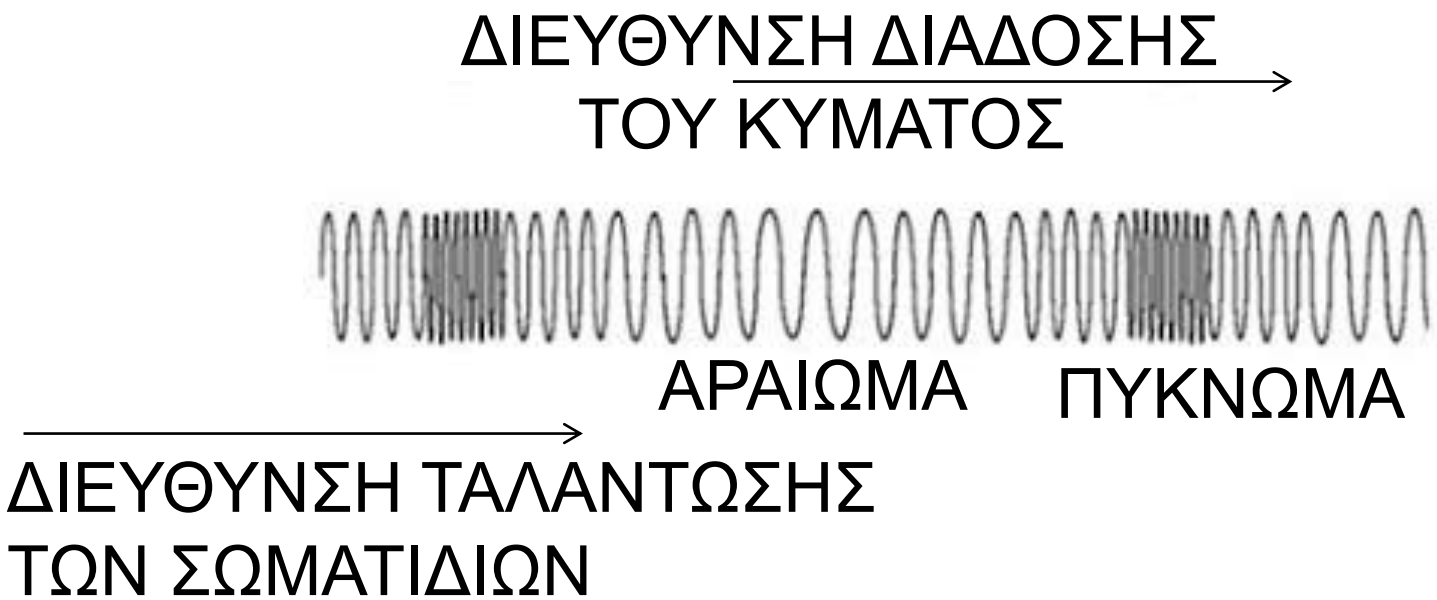
Εγκαρσια Κυματα

- Είναι τα κύματα όπου η διεύθυνση ταλάντωσης είναι ΚΑΘΕΤΗ στη διεύθυνση ΔΙΑΔΟΣΗΣ.



Διαμηκη Κυματα

- Είναι τα κύματα όπου η διεύθυνση ταλάντωσης είναι ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ στη διεύθυνση ΔΙΑΔΟΣΗΣ.



Χαρακτηριστικα των Κυματων

- Σε κάθε κύμα διακρίνουμε:

1) Τη συχνότητα f (ή την περίοδο T) η οποία καθορίζεται από την πηγή του κύματος.

2) Την ταχύτητα διάδοσης c που καθορίζεται από το μέσο διάδοσης.

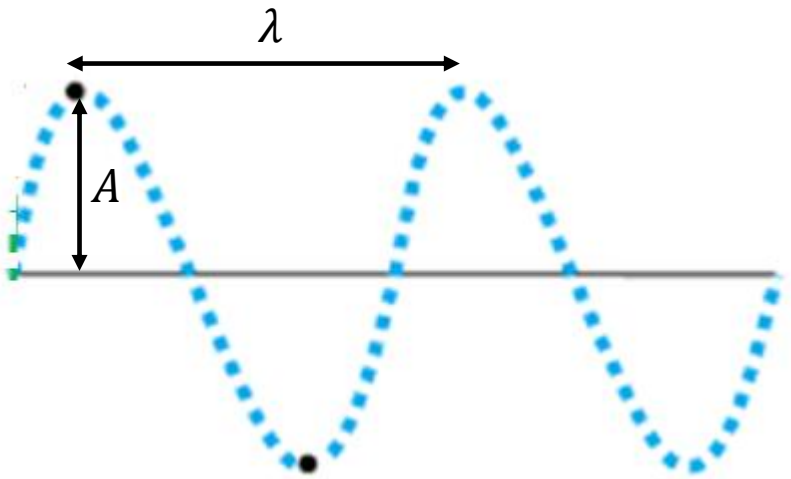
3) Το μήκος κύματος λ.

4) Το πλάτος του κύματος A.

Χαρακτηριστικα των Κυματων

- Η βασική εξίσωση που συνδέει δύο από αυτά τα μεγέθη είναι η:

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



Μηχανικα & Ηλεκτρομαγνητικα Κυματα

- Μια άλλη κατηγοριοποίηση, πέραν των εγκάρσιων και διαμήκων, είναι σε ΜΗΧΑΝΙΚΑ και ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ.

Μηχανικα Κυματα

- Είναι εκείνα τα κύματα που για να διαδοθούν απαιτούν την ύπαρξη ενός ελαστικού μέσου διάδοσης.
- Τέτοια είναι τα κύματα σε μια χορδή, τα κύματα που παρατηρούμε στη θάλασσα, ο ήχος κ.ο.κ.

Ηλεκτρομαγνητικα Κυματα

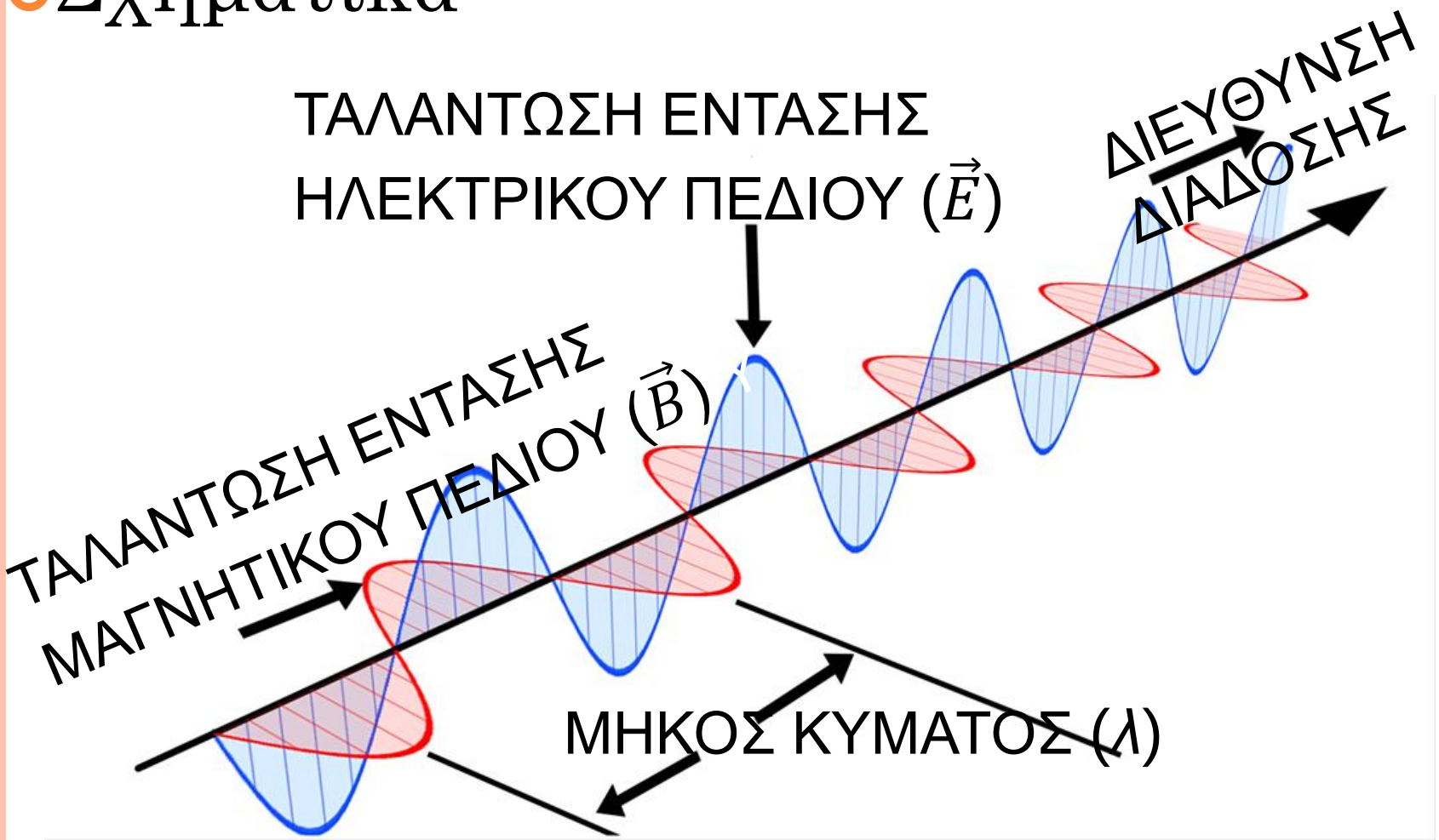
- Είναι εκείνα τα κύματα που ΔΕΝ απαιτούν μέσο διάδοσης αλλά μπορούν να διαδοθούν ΚΑΙ ΣΤΟ ΚΕΝΟ.

Ηλεκτρομαγνητικα Κυματα

- Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στα κύματα αυτά ταλαντώνονται δύο μεγέθη, η ΕΝΤΑΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ($\vec{E}$) & η ΕΝΤΑΣΗ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ($\vec{B}$).

Ηλεκτρομαγνητικα Κυματα

- Σχηματικά



Ηλεκτρομαγνητικα Κυματα

- Βασικές Ιδιότητες των Η/Μ κυμάτων:

1) Το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο ταλαντώνονται κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης (εξου και εγκάρσια κύματα) και σε αμοιβαία κάθετες διευθύνσεις.

$$E_y = E_{max} \cdot \sin\left[2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right]$$

$$\frac{E_{max}}{B_{max}} = c$$

$$B_z = B_{max} \cdot \sin\left[2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right]$$

Ηλεκτρομαγνητικα Κυματα

- Βασικές Ιδιότητες των Η/Μ κυμάτων:

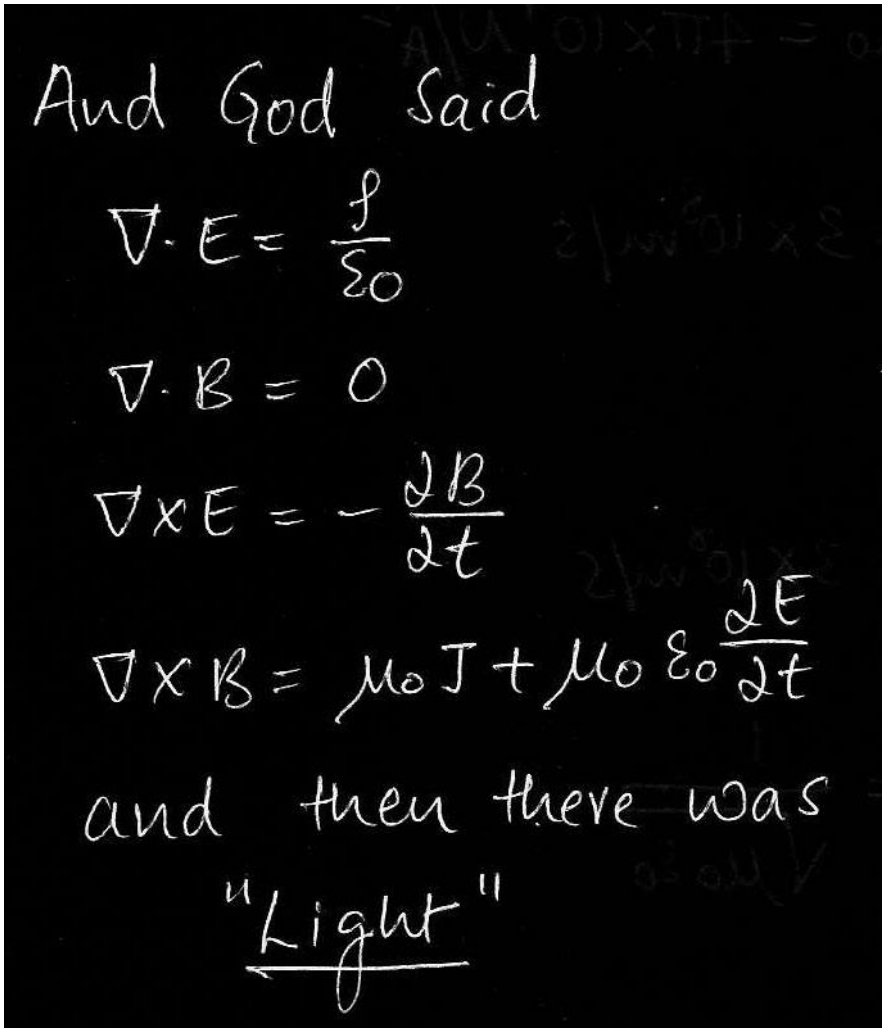
1) Ταλαντώνονται δύο μεγέθη, τα $\vec{E}$ και $\vec{B}$, επομένως δεν απαιτείται μέσο διάδοσης.

2) Κάθε ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαδίδεται στο κενό με την ταχύτητα που διαδίδεται και το φως.

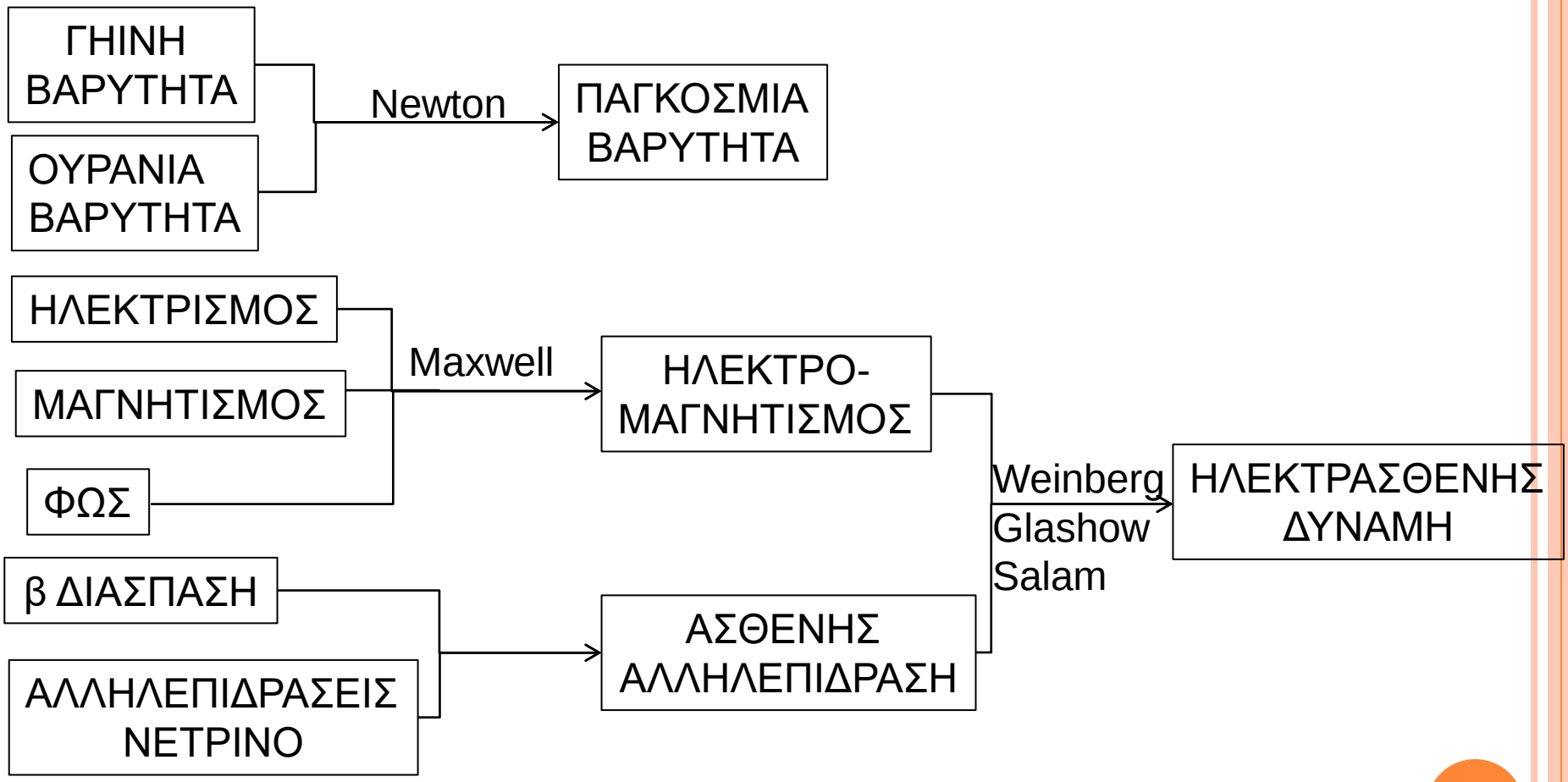
Ηλεκτρομαγνητικα Κυματα

- Η ύπαρξη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων προβλέφθηκε από τον Maxwell (1867).

Ηλεκτρομαγνητικα Κυματα



Ενοποιησεις στη Φυσικη



Ηλεκτρομαγνητικα Κυματα

- Για πρώτη φορά παρήχθησαν και ανιχνεύθηκαν ηλεκτρομαγνητικά κύματα από τον Hertz (1887).
- Η ιδέα για τη χρήση Η/Μ κυμάτων για μετάδοση πληροφορίας ήρθε αργότερα (Marconi/τηλέγραφος).

Ηλεκτρομαγνητικα Κυματα

- Ένας τρόπος παραγωγής αυτών των κυμάτων είναι από την επιτάχυνση ηλεκτρικών φορτίων.

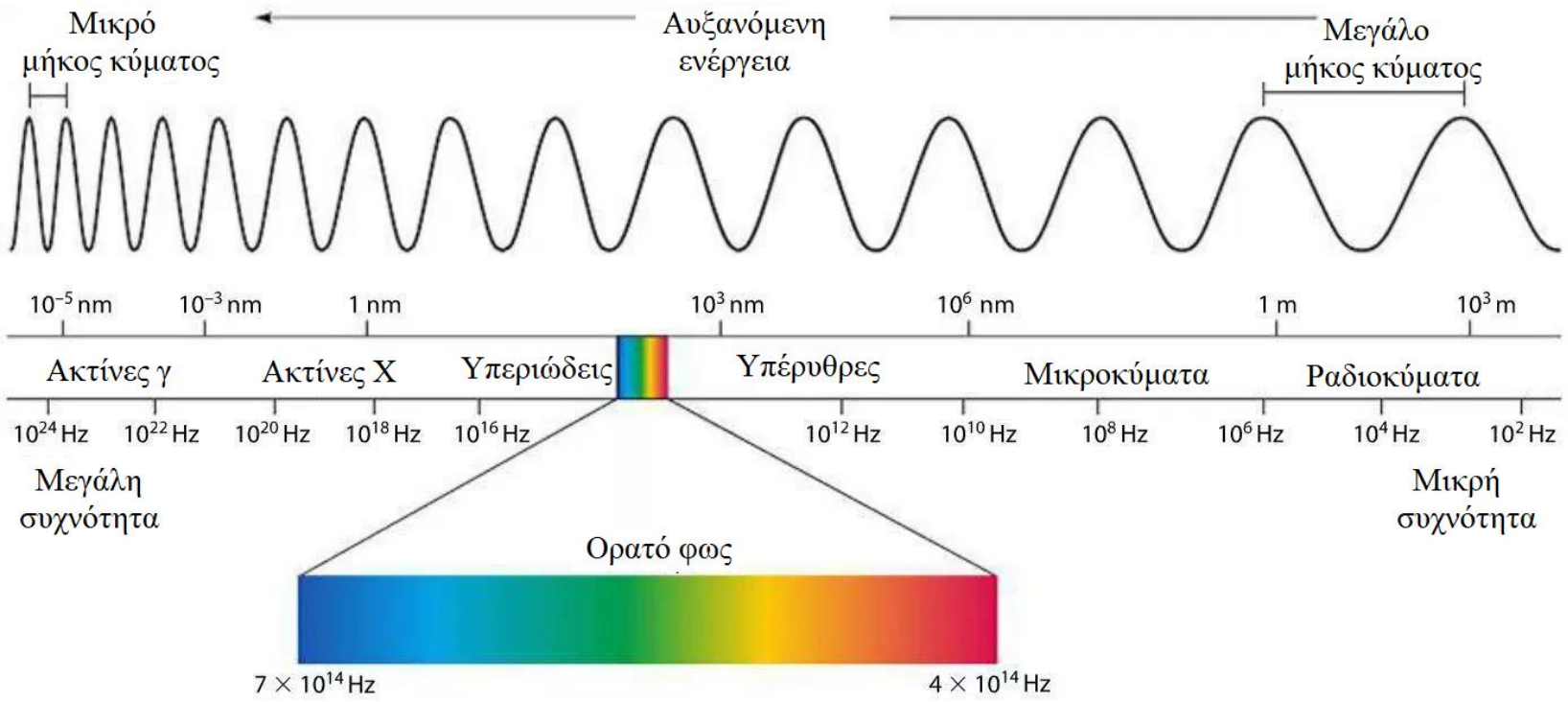
https://phet.colorado.edu/en/simulations/radio-waves

Ηλεκτρομαγνητικο Φασμα

- Πέρα από το ορατό φως υπάρχουν μια σειρά άλλα κύματα που είναι επίσης ηλεκτρομαγνητικά.
- Ανάλογα με το μήκος κύματος (ή τη συχνότητα) διακρίνουμε διαφορετικές περιοχές.

Ηλεκτρομαγνητικο Φασμα

- Σχηματικά



Τύποι Η/Μ Κυματων

- ΡΑΔΙΟΚΥΜΑΤΑ ($0{,}3\ m < \lambda < \infty$) : Είναι τα κύματα πολύ μεγάλου μήκους κύματος. Το άκρο που αντιστοιχεί στα μικρά μήκη κύματος χρησιμοποιείται στις επικοινωνίες (ραδιόφωνο, τηλεόραση). Τα κύματα αυτά παράγονται από φορτία που ταλαντώνονται σε ηλεκτρικά κυκλώματα.

Τύποι Η/Μ Κυματων

- ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΑ ($1\ mm < \lambda <$ 0,3m): Χρησιμοποιούνται στα κινητά τηλέφωνα, ραντάρ, φούρνους μικροκυμάτων (12,2 cm). Τα κύματα αυτά παράγονται από φορτία που ταλαντώνονται σε ηλεκτρικά κυκλώματα.

Τύποι Η/Μ Κυματων

- ΥΠΕΡΥΘΡΟ ($780\ nm < \lambda < 1\ mm$) : Χρησιμοποιείται από συστήματα νυχτερινής όρασης αλλά και από ζώα (κυρίως φίδια όπως οχιές, πύθωνες, βόες) που κυνηγούν στο σκοτάδι ανιχνεύοντας τη θερμότητα από τα σώματα των θηραμάτων τους. Τα κύματα αυτά παράγονται από μεταπτώσεις ηλεκτρονίων σε άτομα ή μόρια.

Τύποι Η/Μ Κυματων

- ΟΡΑΤΟ ($390\ \text{nm} < \lambda < 780\ nm$): Είναι η περιοχή του Η/Μ φάσματος που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος. Αποτελείται από επιμέρους χρώματα που αντιστοιχούν σε διαφορετικά μήκη κύματος. Τα κύματα αυτά παράγονται από μεταπτώσεις ηλεκτρονίων σε άτομα ή μόρια.

Ορατο Φως

- Σε γενικές γραμμές είναι:

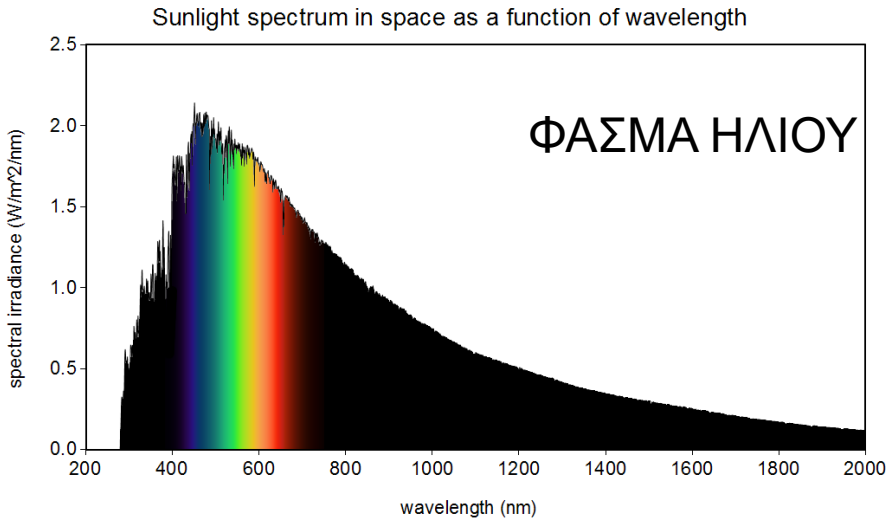
ΧΡΩΜΑ	λ (nm)	f (10^{14}Hz)
Ερυθρό	780-622	3,84-4,82
Πορτοκαλί	622-597	4,82-5,03
Κίτρινο	597-577	5,03-5,20
Πράσινο	577-492	5,20-6,10
Μπλε	492-455	6,10-6,59
Ιώδες	455-390	6,59-7,69

Ορατο Φως

- Η αίσθηση των χρωμάτων είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης φυσιολογίας και όχι ιδιότητα της Η/Μ ακτινοβολίας.
- Πρώτος ο Νεύτωνας αναγνώρισε ότι αυτό που θεωρούμε **λευκό φως** είναι στην πραγματικότητα μίξη όλων των προηγούμενων χρωμάτων.

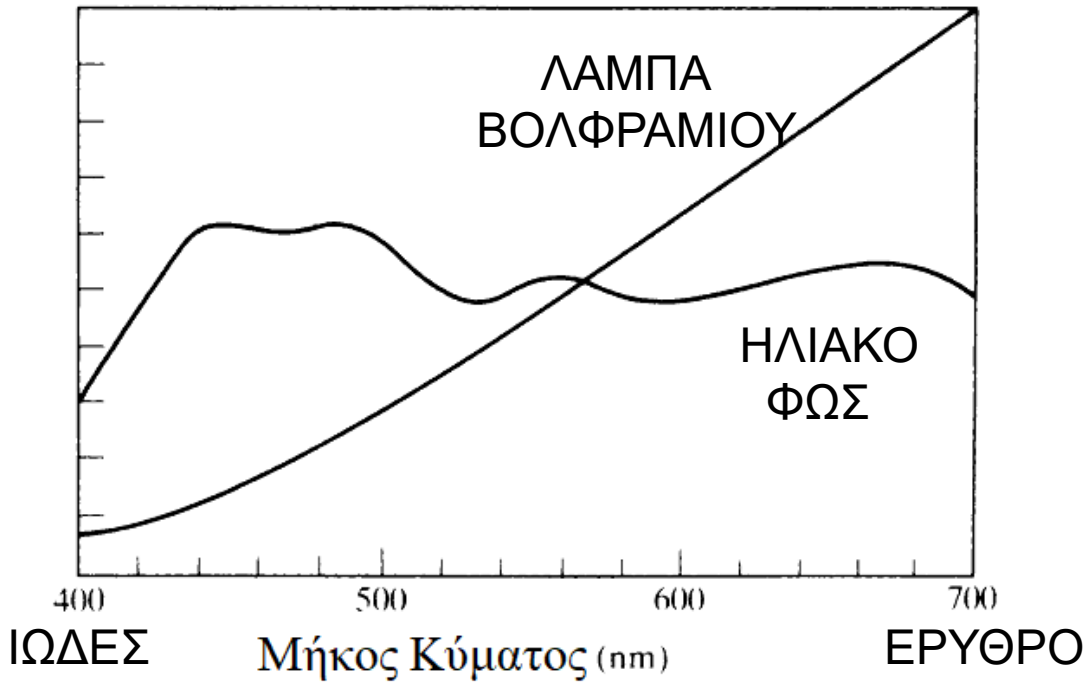
Φασματα

- Η ακτινοβολία που εκπέμπει ένα σώμα στα διάφορα μήκη κύματος είναι το φάσμα.



Ορατο Φως

- Στην πραγματικότητα το λευκό φως δεν είναι κάτι μονοσήμαντα ορισμένο.



Τύποι Η/Μ Κυματων

- ΥΠΕΡΙΩΔΕΣ ($10\ nm < \lambda < 390\ nm$): Τα κύματα αυτά γίνονται αντιληπτά από ορισμένα ζώα (π.χ. μέλισσες, παγώνια). Χρησιμοποιείται σαν μικροβιοκτόνος παράγοντας στα τρόφιμα, το νερό και τον αέρα, αφού σκοτώνει τους μικροοργανισμούς. Τα κύματα αυτά παράγονται από μεταπτώσεις ηλεκτρονίων σε άτομα ή μόρια.

Υπεριωδη Η/Μ Κυματα

- Ο Ήλιος εκπέμπει υπεριώδη ακτινοβολία η οποία απορροφάται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας από το όζον (O_3).
- Σήμερα η τρύπα του όζοντος επιτρέπει τη διέλευση των υπεριώδων ακτίνων σε μεγαλύτερο ποσοστό.

Τύποι Η/Μ Κυματων

- ΑΚΤΙΝΕΣ Χ ($6\ \text{pm} = 6 \cdot 10^{-12}\ m < \lambda <$ $10\ \text{nm}$): Χρησιμοποιούνται στις γνωστές μας ακτινογραφίες. Επίσης χρησιμοποιείται ευρέως στην αστρονομία.

Τύποι Η/Μ Κυματων

- ΑΚΤΙΝΕΣ γ ($\lambda < 6$ pm):
  Χρησιμοποιούνται στην Ιατρική αλλά και στην αστρονομία. Τα κύματα αυτά παράγονται από μεταπτώσεις που συμβαίνουν στον πυρήνα.

Η Αισθηση του Χρωματος

Πρωταρχικα Χρωματα

- Μπορούμε να αντιμετωπίσουμε τα χρώματα των διαφόρων αντικειμένων με τη βοήθεια των πρωταρχικών χρωμάτων και τη βοήθεια δύο βασικών μοντέλων που είναι αυτό της πρόσθεσης και αυτό της αφαίρεσης.

Προσθετικα Πρωταρχικα Χρωματα

- Αυτά είναι τα Κόκκινο (Red), το Πράσινο (Green) και το Μπλε (Blue).
- Από τα αρχικά τους σχηματίζεται η γνωστή ακροστιχίδα RGB.
- Συνδυαζόμενα και τα τρία αυτά χρώματα δίνουν το λευκό χρώμα.

Προσθετικά Πρωταρχικά Χρώματα

- Μπορούμε να θυμόμαστε τα χρώματα αυτά καθώς και τα χρώματα που προκύπτουν από τους συνδυασμούς τους με τη βοήθεια του δίσκου των χρωμάτων που φαίνεται στο διπλανό σχήμα.
- Κάθε δύο πρωταρχικά χρώματα συνδυαζόμενα δίνουν το χρώμα που βρίσκεται μεταξύ τους, δηλαδή ΜΠΛΕ + ΚΟΚΚΙΝΟ = magenta

Προσθετικά Πρωταρχικά Χρώματα

- Τα χρώματα τώρα που βρίσκονται απέναντι λέμε ότι είναι συμπληρωματικά, καθώς συνδυαζόμενα δίνουν το λευκό χρώμα.
- Για παράδειγμα ΠΡΑΣΙΝΟ + magenta = ΠΡΑΣΙΝΟ + (ΜΠΛΕ + ΚΟΚΚΙΝΟ) = ΛΕΥΚΟ

Πρωταρχικα Χρωματα Κατα την Αφαιρεση

- Αυτά είναι τα Κυανό (cyan), το Magenta και το Κίτρινο (yellow).
- Πρόκειται για τα χρώματα που προκύπτουν αν από το λευκό χρώμα αφαιρέσω ένα από τα πρωταρχικά χρώματα κατά την πρόσθεση των χρωμάτων, δηλαδή ένα από τα RGB.

Πρωταρχικα Χρωματα Κατα την Αφαιρεση

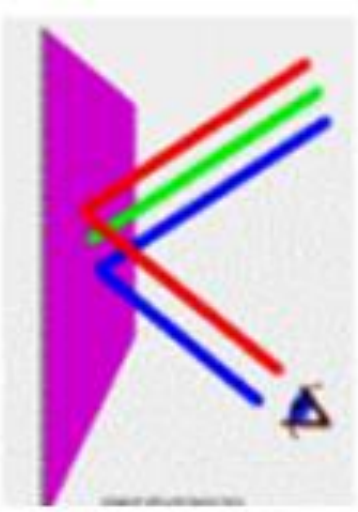
- Αφού λοιπόν όπως είδαμε πράσινο + MAGENTA =

  ΛΕΥΚΟ ⇒ MAGENTA = ΛΕΥΚΟ – πράσινο.
- Όμοιως θα είναι ΚΥΑΝΟ = ΛΕΥΚΟ – κόκκινο και τέλος ΚΙΤΡΙΝΟ = ΛΕΥΚΟ – μπλε.

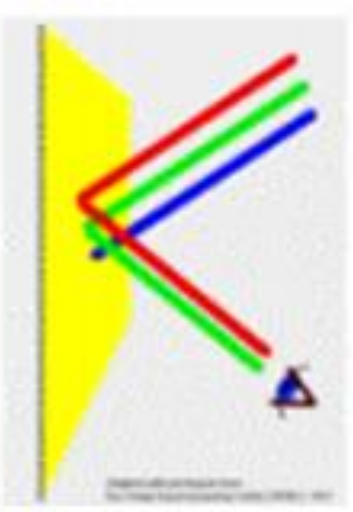
Πρωταρχικα Χρωματα Κατα την Αφαιρεση

- Σχηματικά έχω

ΚΥΑΝΟ



MAGENTA

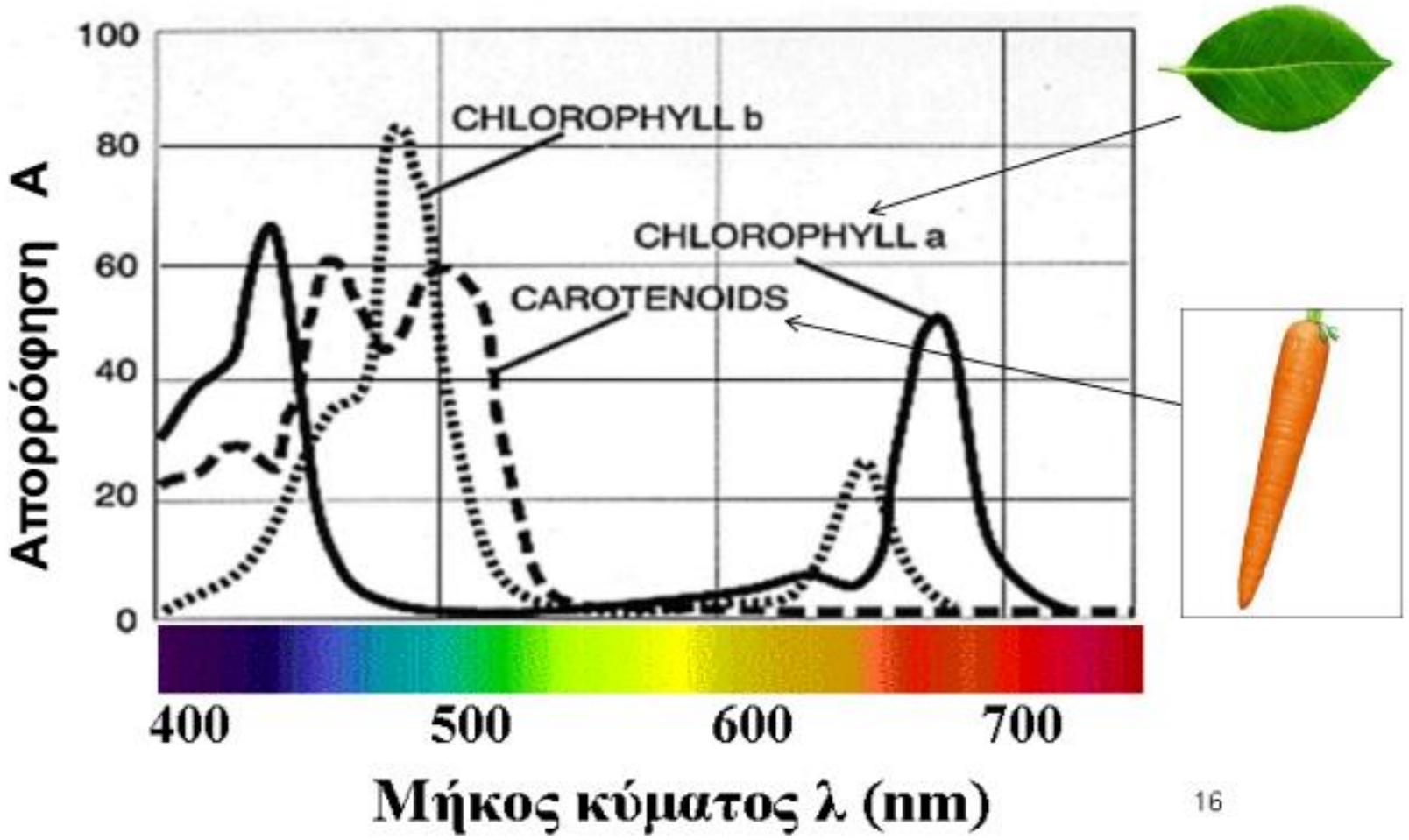


ΚΙΤΡΙΝΟ

Πρωταρχικα Χρωματα Κατα την Αφαιρεση

- Ισχύει και πάλι ότι αν συνδυάσω δύο χρώματα (για παράδειγμα το κυανό και το magenta) θα προκύψει το χρώμα που βρίσκεται ενδιάμεσά τους (δηλαδή το μπλε).
- Πράγματι ΚΥΑΝΟ + MAGENTA = (ΛΕΥΚΟ – κόκκινο) + (ΛΕΥΚΟ – πράσινο) = μπλε

Απορρόφηση από χρωστικές



Πολωμενο Φως

Γενικα

- Το φαινόμενο της πόλωσης αφορά ΜΟΝΟ τα εγκάρσια κύματα.
- Τα Η/Μ κύματα ως εγκάρσια μπορούν να πολωθούν.

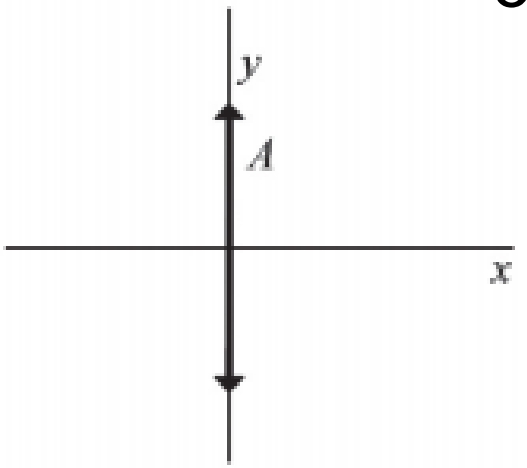
Γραμμικη Πολωση

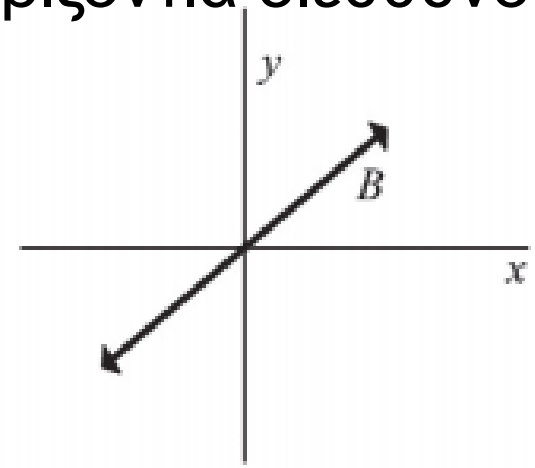
- Αν καθώς το φως διαδίδεται, το ηλεκτρικό πεδίο ταλαντώνεται συνεχώς στην ίδια διεύθυνση τότε το ηλεκτρομαγνητικό κύμα λέγεται ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΠΟΛΩΜΕΝΟ.

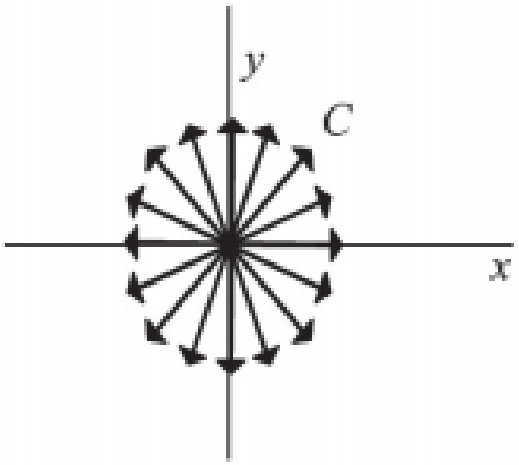
Γραμμικη Πολωση

- Σχηματικά έχω:

Πόλωση στην οριζόντια διεύθυνση







Πόλωση στην κατακόρυφη διεύθυνση

Μη πολωμένο φως

Μη Πολωμενο Φως

- Το φυσικό φως που εκπέμπεται από τις λάμπες ή τον Ήλιο ΔΕΝ είναι γραμμικά πολωμένο ή αλλιώς εμφανίζει πόλωση που μεταβάλλεται τυχαία.
- Με άλλα λόγια το διάνυσμα $\vec{E}$ αλλάζει συνεχώς και πολύ γρήγορα διεύθυνση ταλάντωσης.

Μη Πολωμενο Φως

- Αποδεικνύεται ότι μπορούμε να αναλύσουμε το μη πολωμένο φως σε δύο αμοιβαία κάθετα και ασύμφωνες (πρόκειται για δύο κύματα που η διαφορά φάσης μεταβάλλεται με τυχαίο τρόπο) καταστάσεις γραμμικής πόλωσης.

Γραμμικη Πολωση του Φωτος

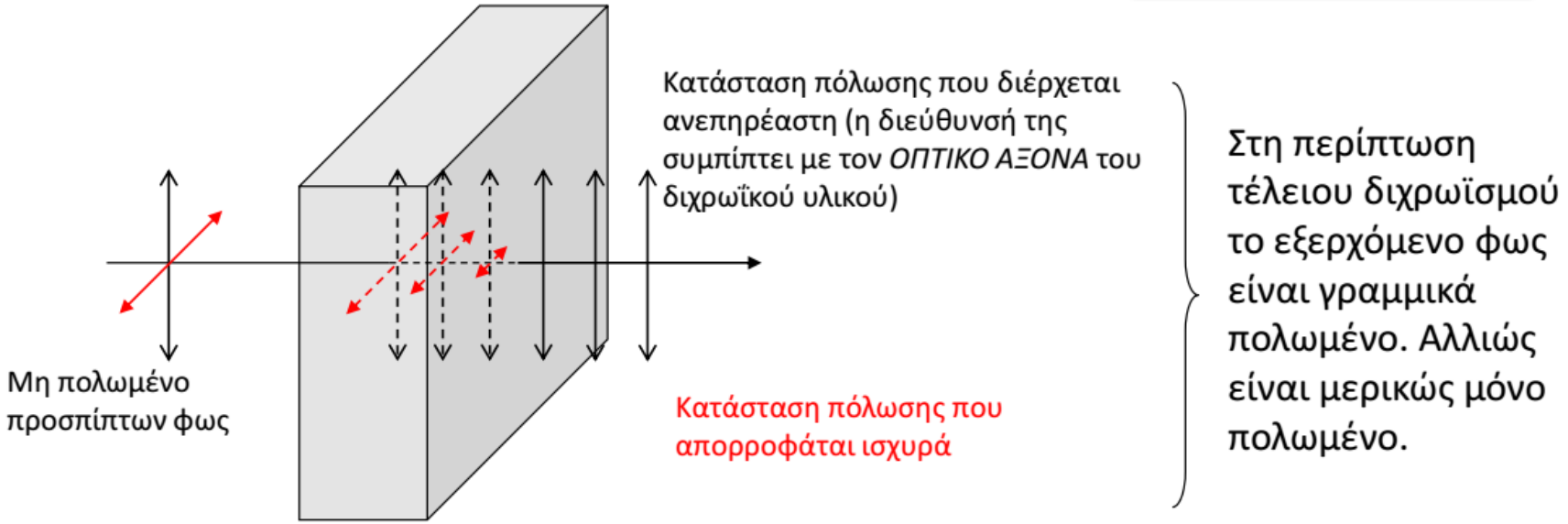
- Υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους μπορούμε να πολώσουμε ένα Η/Μ κύμα και ειδικότερα το φως.
- Θα μελετήσουμε αρχικά την πόλωση μέσω ΔΙΧΡΩΙΣΜΟΥ όπου γίνεται επιλεκτική απορρόφηση της μιας από τις δύο ορθογώνιες καταστάσεις γραμμικής πόλωσης στις οποίες αναλύεται το φυσικό φως.

Μηχανισμος Της Πολωσης Μεσω Διχρωισμου

- Το διχρωικό υλικό απορροφά προνομιακά την μια από τις δύο ορθογώνιες συνιστώσες του φυσικού φωτός.
- Η συνιστώσα που δεν απορροφάται από το υλικό, ορίζει το λεγόμενο **άξονα διέλευσης** ή **άξονα πόλωσης** του υλικού.

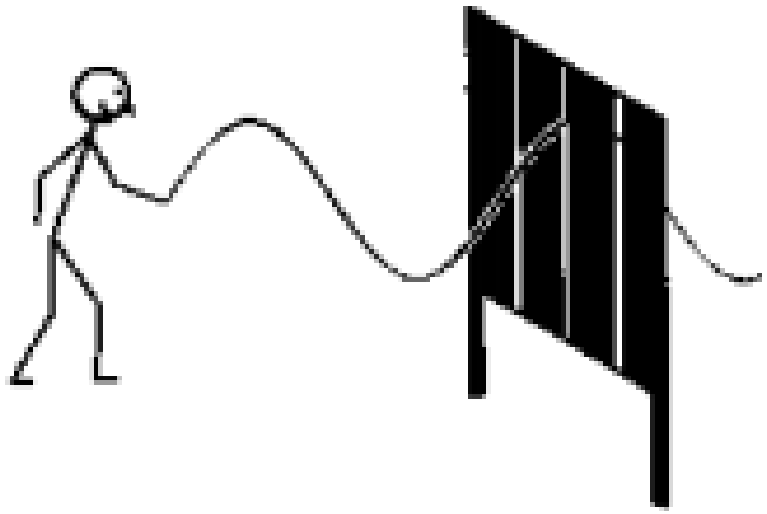
Μηχανισμος Της Πολωσης Μεσω Διχρωισμου

- Σχηματικά:



Πολωση Με Διχρωισμο Των Μηχανικων Κυματων

- Στην περίπτωση των μηχανικών κυμάτων η πόλωση μέσω διχρωισμού ορισμένες φορές μπορεί να γίνει πολύ εύκολα.

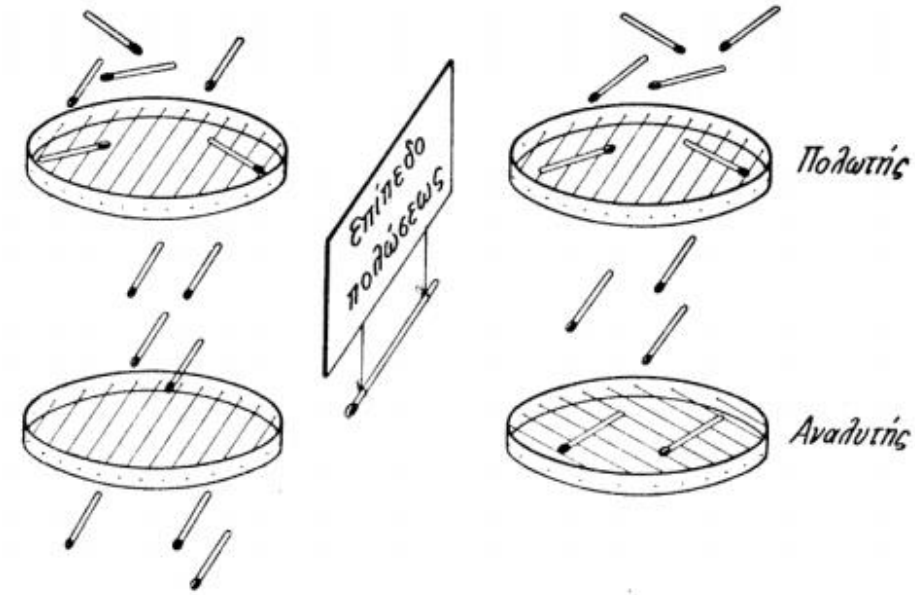


Πολωτης/Αναλυτης

- Το σώμα που προκαλεί την πόλωση ενός κύματος (μηχανικού ή ηλεκτρομαγνητικού) ονομάζεται πολωτής.
- Πολλές φορές για να μελετήσουμε την πόλωση χρησιμοποιούμε ένα δεύτερο σώμα, ίδιο με τον πολωτή, που τον ονομάζουμε αναλυτή επειδή με αυτόν μελετάμε την κατάσταση πόλωσης ενός κύματος.

Παραδειγμα Πολωτη/Αναλυτη

- Θα πρέπει να γίνει κατανοητό ότι ο πολωτής και ο αναλυτής δεν διαφέρουν κατασκευαστικά αλλά μόνο ως προς το ρόλο τους.

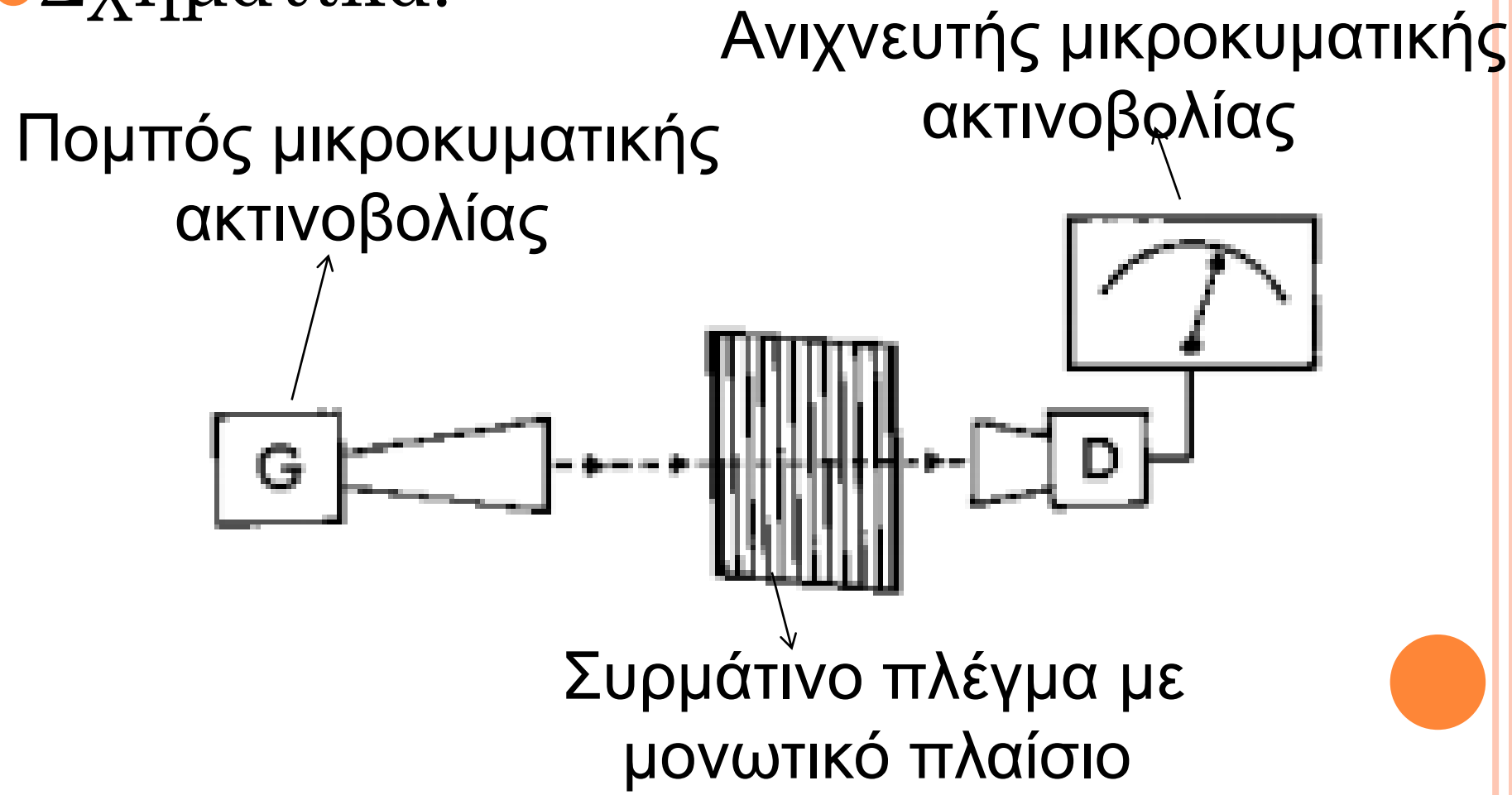


Πολωση Μικροκυματων

- Μπορούμε να πολώσουμε και ηλεκτρομαγνητικά κύματα (για παράδειγμα μικροκύματα με μήκος κύματος 3 cm) χρησιμοποιώντας ένα συρμάτινο πλέγμα όπου οι αποστάσεις μεταξύ των συρμάτων είναι μικρότερες από το μήκος κύματος των μικροκυμάτων και τα σύρματα δεν συνδέονται με αγώγιμο τρόπο.

Πολωση Μικροκυματων

- Σχηματικά:



Μηχανισμος Πολωσης

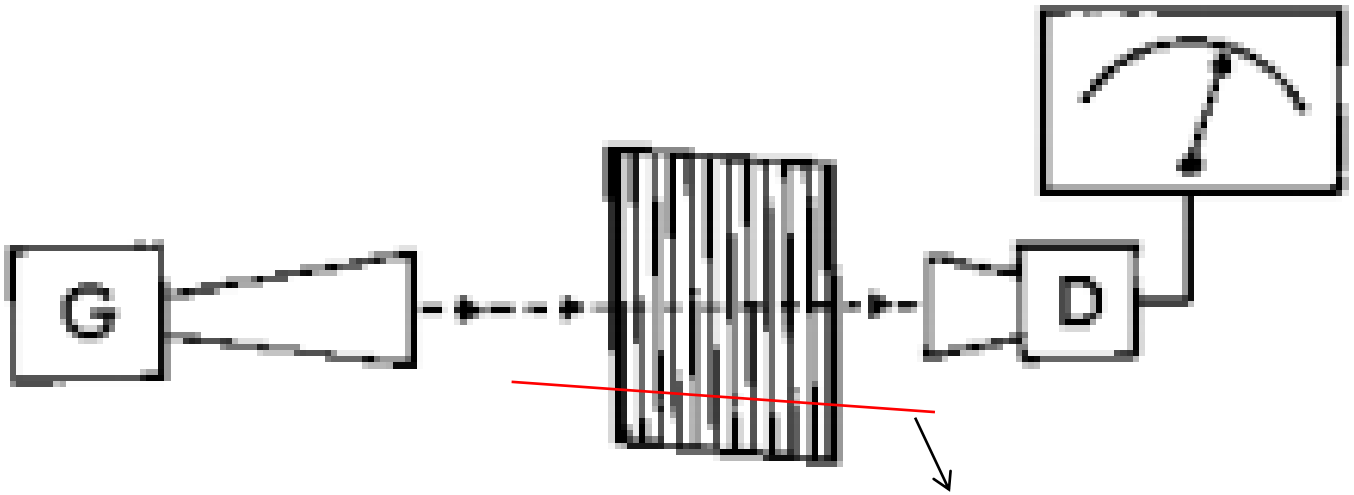
- Τα ελεύθερα e των συρμάτων τίθενται σε ταλάντωση από το $\vec{E}$. Αν η ταλάντωση γίνεται κατά μήκος των συρμάτων τότε η ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική και το κύμα δεν διέρχεται (συνιστώσα που ΔΕΝ διέρχεται).

Μηχανισμος Πολωσης

- Αντιθέτως, εάν η ταλάντωση γίνεται κάθετα προς τα σύρματα τα e^- δεν έχουν μεγάλα περιθώρια κίνησης (η συνιστώσα αυτή διέρχεται από το πλέγμα).

Μηχανισμος Πολωσης

- Σχηματικά:



Άξονας διέλευσης ή άξονας πόλωσης

Πολωση Φωτος

- Μπορούμε να πολώσουμε το φως χρησιμοποιώντας φίλτρα polaroid (E. Ladd 1932) τα οποία μπορούμε να θεωρήσουμε ως πλέγματα που σχηματίζονται από πολυμερή που διατάσσονται περίπου όπως τα σύρματα του πλέγματος.

Πολωση Φωτος

- Τα polaroid λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο περίπου όπως το συρμάτινο πλέγμα.
- Σε κάθε polaroid λοιπόν διακρίνεται ο άξονας διέλευσης.

Πολωση Φωτος

- Όταν φυσικό (μη πολωμένο φως) προσπέσει στον πολωτή τότε το εξερχόμενο φως είναι γραμμικά πολωμένο, με ένταση ίση με τη μισή της αρχικής.

Πολωση Φωτος

- Σχηματικά

$I_0/2$

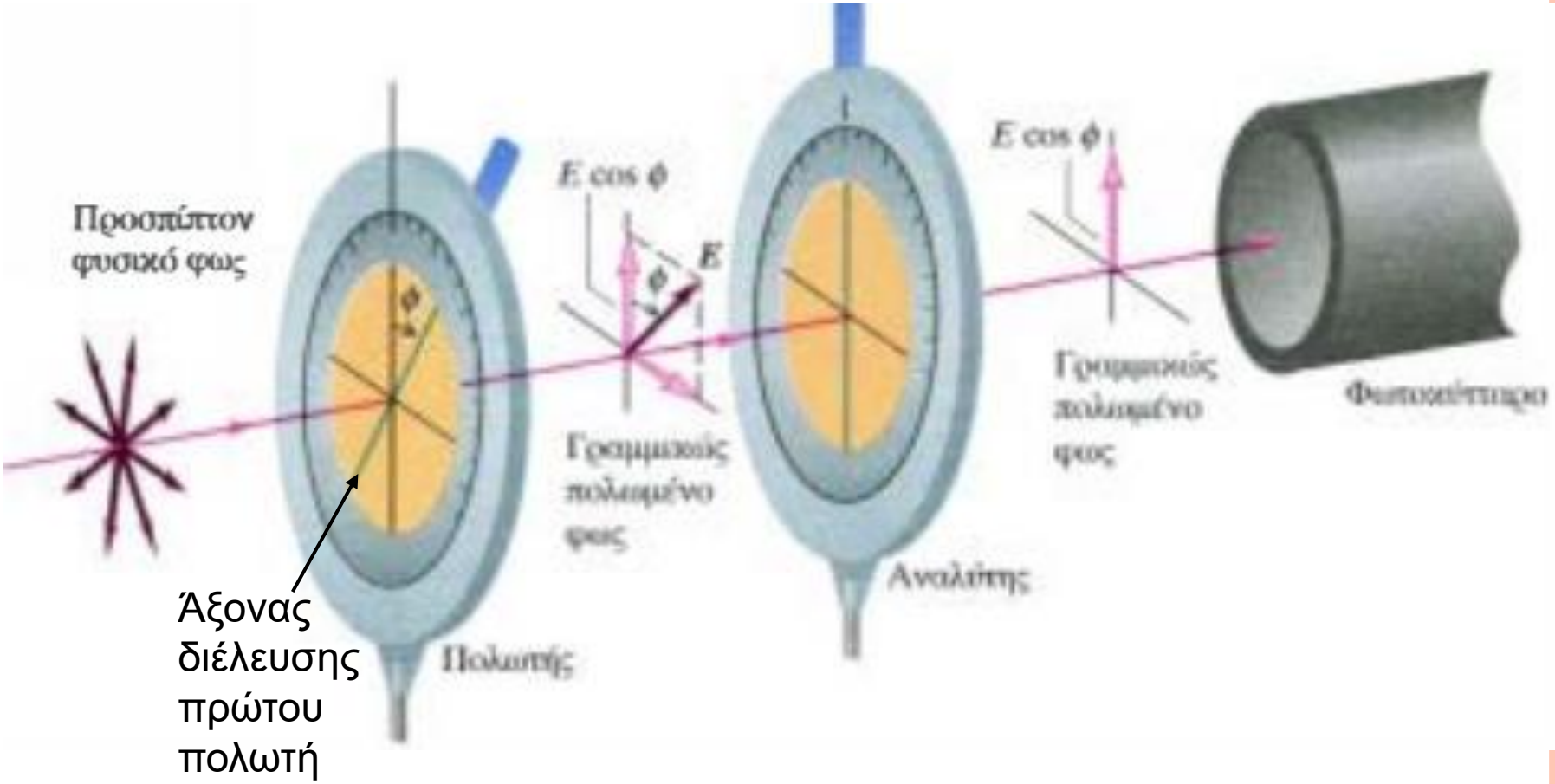
$$I_0 = \frac{\Delta E}{\Delta A\, \Delta t}$$

Νομοσ Malus

- Αν αυτό το γραμμικά πολωμένο φως προσπέσει σε δεύτερο polaroid, τότε από αυτό θα διέλθει μόνο η προβολή της συνιστώσας που βρίσκεται κατά μήκος του δεύτερου άξονα διέλευσης.

Νομος Malus

- Σχηματικά:



Νομος Malus

- Αν οι δύο άξονες διέλευσης σχηματίζουν γωνία ϕ, τότε η ένταση της εξερχόμενης από τον αναλυτή δέσμης θα υπακούει στο νόμο Malus (1809) και θα είναι:

$$I = I_{max} \cdot cos^2\phi$$

(ισχύει για γραμμικά πολωμένη δέσμη που προσπίπτει σε αναλυτή)

Νομοσ Malus

- Αν οι δύο άξονες είναι παράλληλοι μεταξύ τους ($\phi = 0°, 180°$), τότε $\cos^2 0 = \cos^2 180 = 1$ οπότε όλη η ακτινοβολία διέρχεται από τον αναλυτή.

Νομος Malus

- Αν οι δύο άξονες είναι κάθετοι μεταξύ τους ($\phi = 90°, 270°$), τότε επειδή $\cos^2 90 = \cos^2 270 = 0$ οπότε δεν διέρχεται ακτινοβολία από τον αναλυτή.

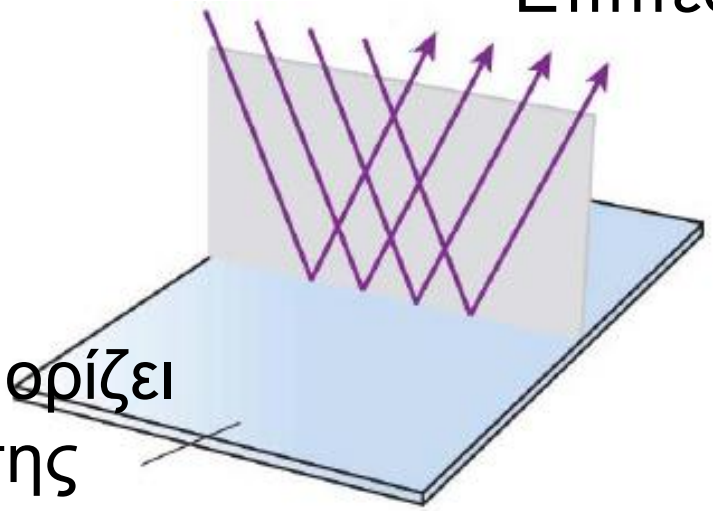
Πολωση Απο Ανακλαση

- Η ανάκλαση είναι ένας δεύτερος μηχανισμός με τον οποίο μπορούμε να προκαλέσουμε πόλωση στο φως.

Πολωση Απο Ανακλαση

- Υπενθυμίζεται ότι στην ανάκλαση υπάρχει το επίπεδο της ανάκλασης.

Επίπεδο ανάκλασης



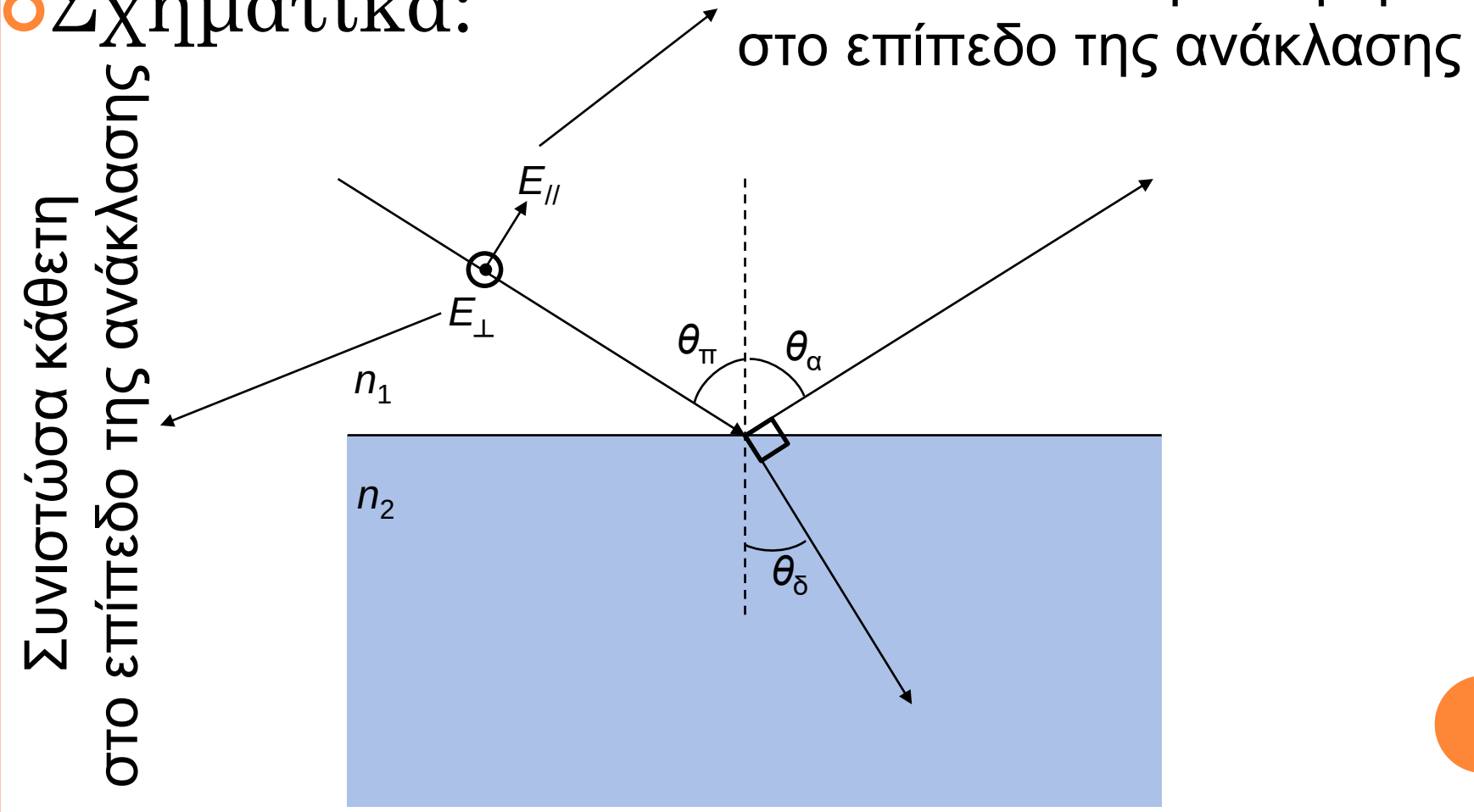
Επιφάνεια που ορίζει το επίπεδο της ανακλώσας επιφάνειας

Πολωση Απο Ανακλαση

- Έστω τώρα ότι στην επιφάνεια προσπίπτει και ανακλάται φυσικό φως.
- Το φυσικό φως μπορεί να αναλυθεί σε δύο συνιστώσες κάθετες μεταξύ τους.
- Μπορούμε να θεωρήσουμε τη μια συνιστώσα παράλληλη στην επιφάνεια ανάκλασης και κάθετη στο επίπεδο της ανάκλασης, ενώ την άλλη παράλληλη στο επίπεδο της ανάκλασης.

Πολωση Απο Ανακλαση

- Σχηματικά:



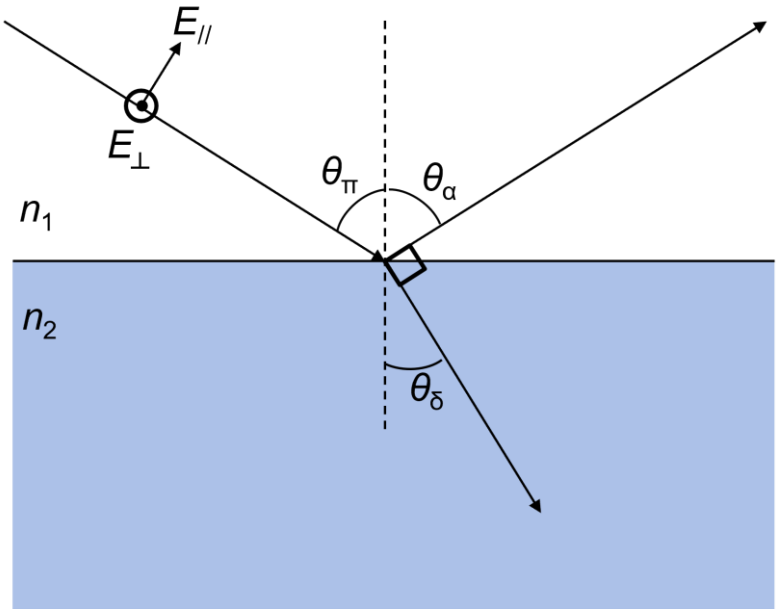
Πολωση Απο Ανακλαση

- Αν συμβεί η ανακλώμενη ακτίνα να είναι παράλληλη με την συνιστώσα $E_{//}$ τότε η συνιστώσα αυτή δεν ανακλάται, οπότε επειδή ανακλάται μόνο η $E_{\perp}$ θα έχω γραμμικά πολωμένο φως.
- Ο Brewster διαπίστωσε ότι όταν συμβαίνει αυτό η ανακλώμενη και η διαθλώμενη ακτίνα είναι κάθετες μεταξύ τους.

Γωνια Brewster

- Πρέπει λοιπόν:

$$\left.\begin{aligned} \theta_\pi + 90 + \theta_\delta &= 180 \\ n_1 \cdot sin\theta_\pi &= n_2 \cdot sin\theta_\delta \end{aligned}\right\} \Rightarrow \boxed{tan\theta_\pi = \frac{n_2}{n_1}}$$



Πολωση Απο Ανακλαση

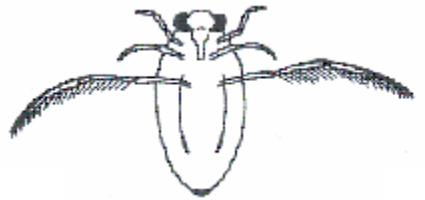
- Αν συμβεί η γωνία πρόσπτωσης να είναι ίση με τη γωνία Brewster, τότε το ανακλώμενο φως θα είναι γραμμικά πολωμένο.
- Για θ_{π}= 0, 180°, το ανακλώμενο φως δεν είναι πολωμένο.
- Για όλες τις άλλες τιμές της γωνίας πρόσπτωσης το ανακλώμενο φως είναι μερικώς πολωμένο.

Γωνια Brewster Για τη Διεπιφανεια Αερας-Νερο

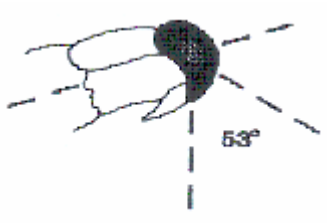
- Για την περίπτωση αέρα ($n_1 = 1$) νερού ($n_2 = 1{,}33$) προκύπτει η γωνία Brewster ίση περίπου με 53°.

Ο Υπτιος Κολυμβητης

- Είναι ένα έντομο (Notonecta) που ζει στην επιφάνεια στάσιμων νερών.



Θέση που
έχει όσο πετάει



Θέση που παίρνει
λίγο πριν
επιχειρήσει κάθοδο
στην επιφάνεια του νερού

Ο Υπτιος Κολυμβητης

- Υποθέτουμε ότι με κάποιο τρόπο το έντομο αναγνωρίζει το πολωμένο φως το οποίο αναμένουμε να ανακλάται από την επιφάνεια του νερού κοντά στην γωνία Brewster των 53°.
- Με τον τρόπο αυτό «βεβαιώνεται» ότι πρόκειται να προσγειωθεί σε νερό και όχι κάπου αλλού.