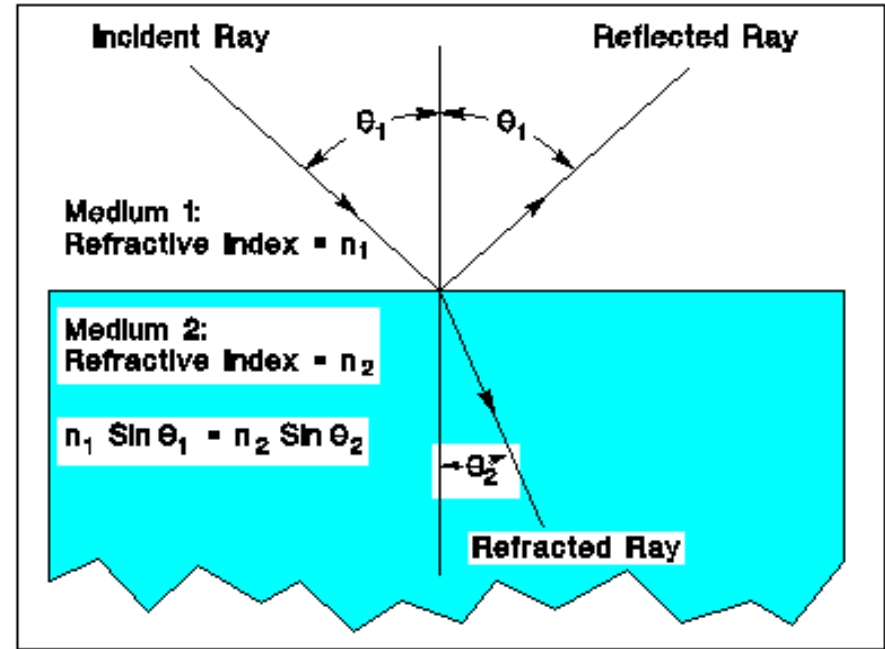
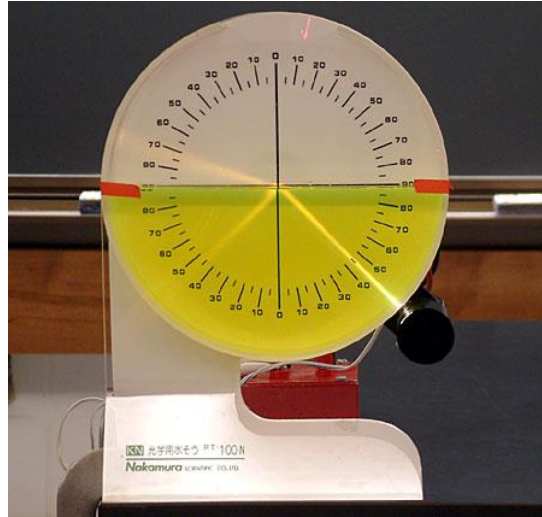


Πόλωση

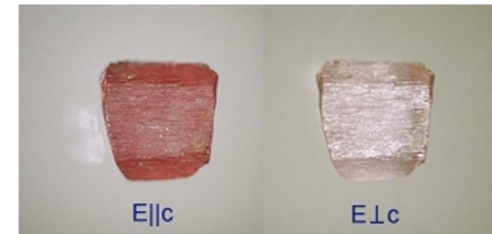
- Γραμμική πόλωση
- Ελλειπτική-κυκλική πόλωση
- Νόμος Malus
- Γωνία Brewster
- Διπλοθλαστικά υλικά

Από Ν. Ανάκλασης & Διάθλασης εξηγούνται τα φαινόμενα



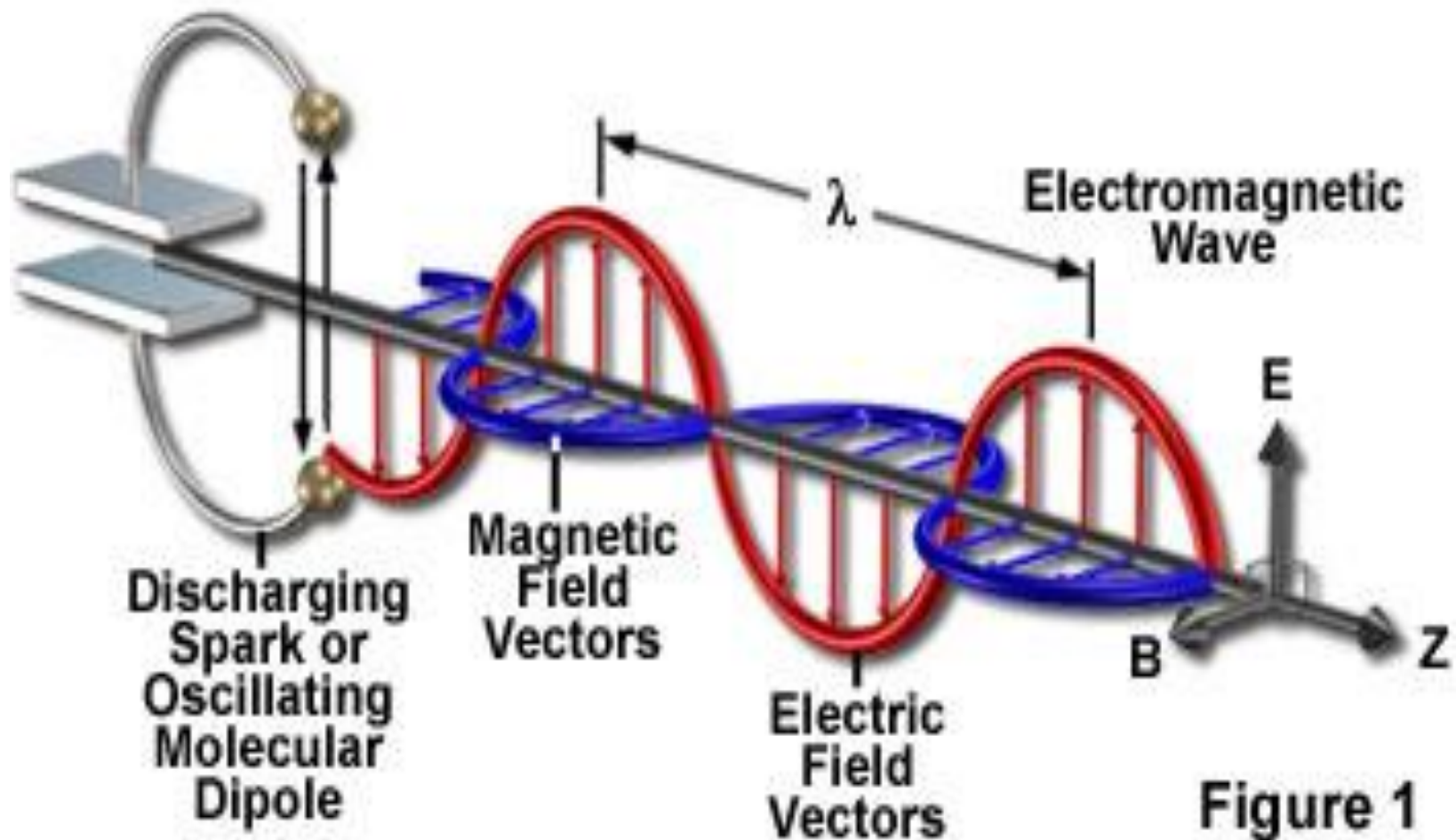
Snell's law

Αλλά δεν εξηγούνται τα παρακάτω φαινόμενα



Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα

Propagation of an Electromagnetic Wave



Ένα επίπεδο γραμμικά πολωμένο μονοχρωματικό ηλεκτρομαγνητικό κύμα περιγράφεται από το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο που το αποτελούν, πχ. στο κενό:

$$E_x(z,t) = E_{x0} \cos[2\pi(z/\lambda - ft)] = \text{Re} \{ E_{x0} \exp[i(kz - \omega t)] \}$$

$$B_y(z,t) = B_{y0} \cos[2\pi(z/\lambda - ft)] = \text{Re} \{ B_{y0} \exp[i(kz - \omega t)] \}$$

όπου $k = 2\pi/\lambda$, $\omega = 2\pi f$ και $\lambda f = c$, $\omega = ck$

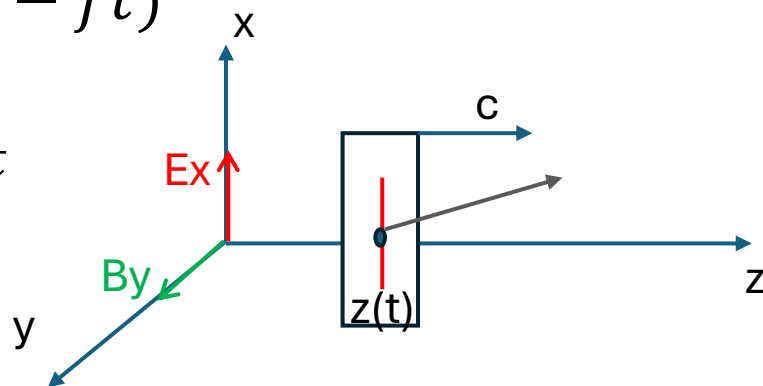
Επίπεδο: Οι ισοφασικές επιφάνειες είναι επίπεδες

Γραμμικά πολωμένο:

$$E_x(z,t) = E_{x0} \cos[2\pi(z/\lambda - ft)], \text{ για } \varphi_0 = 2\pi\left(\frac{z}{\lambda} - ft\right)$$

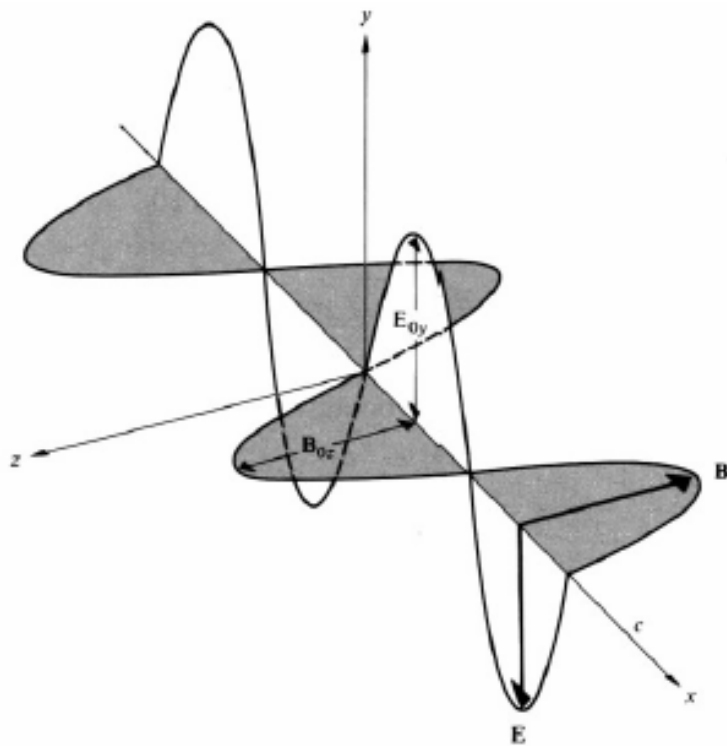
$$\frac{z}{\lambda} = \frac{\varphi_0}{2\pi} + ft \rightarrow z(t) = \frac{\lambda\varphi_0}{2\pi} + \lambda ft \rightarrow z(t) = \frac{\lambda\varphi_0}{2\pi} + ct$$

Μονοχρωματικό: Συγκεκριμένο λ (αίσθηση χρώματος)



Πόλωση

Βασική εκδήλωση της εγκαρσιότητας των ηλεκτρομαγνητικών (H-M) κυμάτων είναι τα φαινόμενα **πόλωσης**, τα οποία δεν παρατηρούνται σε διαμήκη κύματα

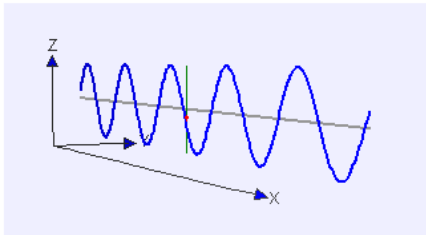
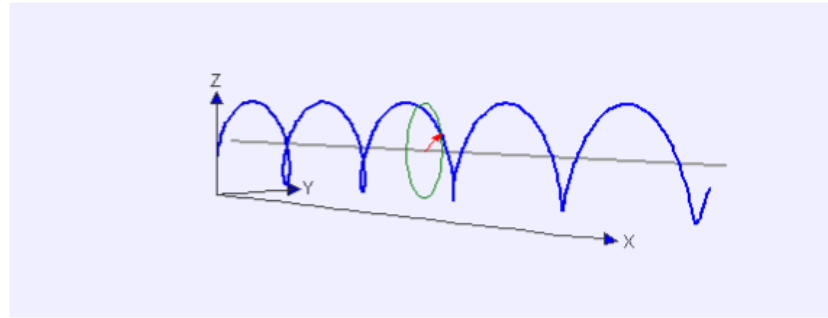
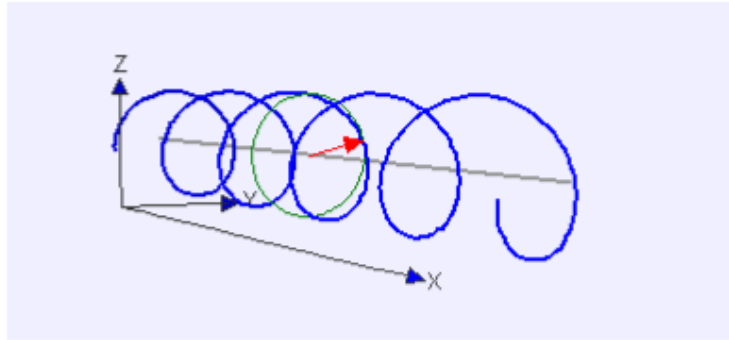


Επίπεδο πόλωσης: το επίπεδο που ορίζεται από το διάνυσμα του ηλεκτρικού πεδίου και τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

Στο στιγμιότυπο του παράπλευρου σχήματος, το επίπεδο πόλωσης είναι το επίπεδο xy

Η κατάσταση πόλωσης ενός Η/Μ κύματος περιγράφεται από το οδόγραμμα του ηλεκτρικού του πεδίου που σχηματίζεται όταν το Η/Μ κύμα μας πλησιάζει μετωπικά,
π.χ.:

$$E_x(t) = E_{x0} \cos(kz - \omega t)$$
$$E_y(t) = E_{y0} \cos(kz - \omega t + \varepsilon)$$



Εφ' όσον το E είναι σταθερό στο χρόνο

$$\frac{E_X}{E_{X_0}} = \cos(\varphi) \text{ \& } \frac{E_Y}{E_{Y_0}} = \cos(\varphi + \varepsilon), \text{ όπου, } \varphi = kz - \omega t$$

$$\cos(\varphi + \varepsilon) = \cos\varphi \cos\varepsilon - \sin\varphi \sin\varepsilon$$

$$\frac{E_Y}{E_{Y_0}} = \frac{E_X}{E_{X_0}} \cos\varepsilon - \sin\varphi \sin\varepsilon \rightarrow \left(\frac{E_Y}{E_{Y_0}} - \frac{E_X}{E_{X_0}} \cos\varepsilon \right)^2 = (-\sin\varphi \sin\varepsilon)^2$$

$$\left(\frac{E_Y}{E_{Y_0}} \right)^2 + \left(\frac{E_X}{E_{X_0}} \cos\varepsilon \right)^2 - 2 \left(\frac{E_Y}{E_{Y_0}} \frac{E_X}{E_{X_0}} \cos\varepsilon \right) = (\sin\varphi)^2 (\sin\varepsilon)^2 = (1 - \cos^2\varphi) (\sin\varepsilon)^2 =$$

$$(\sin\varepsilon)^2 - (\sin\varepsilon)^2 \left(\frac{E_X}{E_{X_0}} \right)^2$$

$$\left(\frac{E_Y}{E_{Y_0}} \right)^2 + \left(\frac{E_X}{E_{X_0}} \cos\varepsilon \right)^2 + (\sin\varepsilon)^2 \left(\frac{E_X}{E_{X_0}} \right)^2 - 2 \left(\frac{E_Y}{E_{Y_0}} \frac{E_X}{E_{X_0}} \cos\varepsilon \right) = (\sin\varepsilon)^2$$

$$\left(\frac{E_y}{E_{y0}}\right)^2 + \left(\frac{E_x}{E_{x0}} \cos \varepsilon\right)^2 - 2 \frac{E_y}{E_{y0}} \frac{E_x}{E_{x0}} \cos \varepsilon + \sin^2 \varepsilon \left(\frac{E_x}{E_{x0}}\right)^2 = \sin^2 \varepsilon$$

$$\left(\frac{E_y}{E_{y0}}\right)^2 + \left(\frac{E_x}{E_{x0}}\right)^2 - 2 \frac{E_y}{E_{y0}} \frac{E_x}{E_{x0}} \cos \varepsilon = \sin^2 \varepsilon$$

Εάν $\varepsilon=0^\circ$ ή 180°

$$E_y = \pm \frac{E_{0y}}{E_{x0}} E_x$$

ευθεία

Εάν $\varepsilon=90^\circ$ ή 270°

$$\left(\frac{E_y}{E_{y0}}\right)^2 + \left(\frac{E_x}{E_{x0}}\right)^2 = 1$$

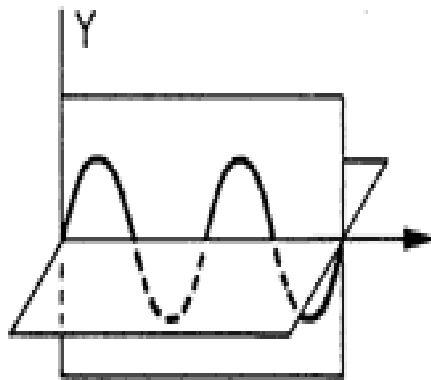
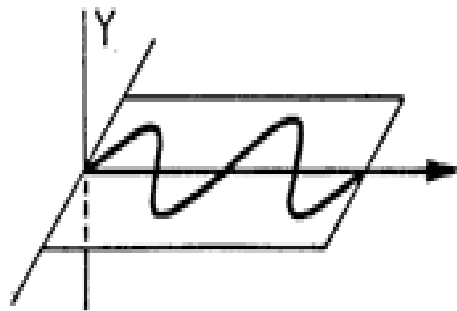
έλλειψη

$$E_{x0} = E_{y0} = E_0$$

$$E_x^2 + E_y^2 = E_0^2$$

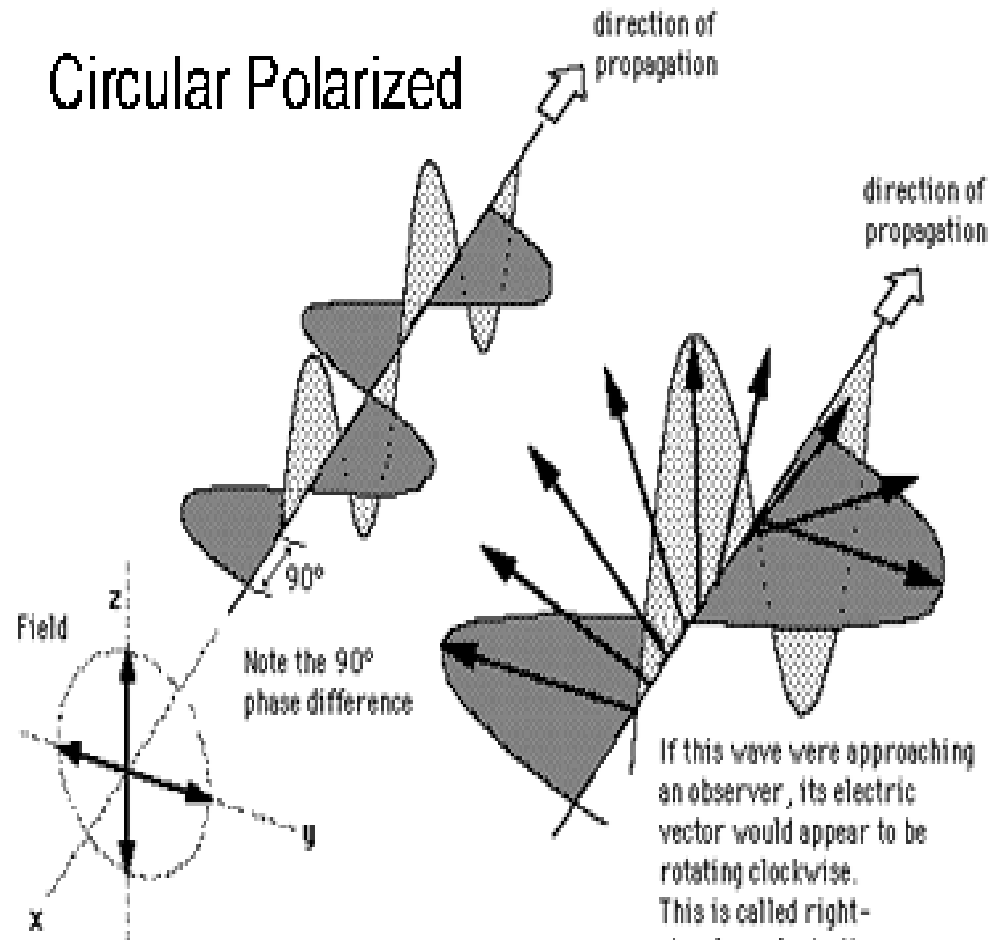
κύκλος

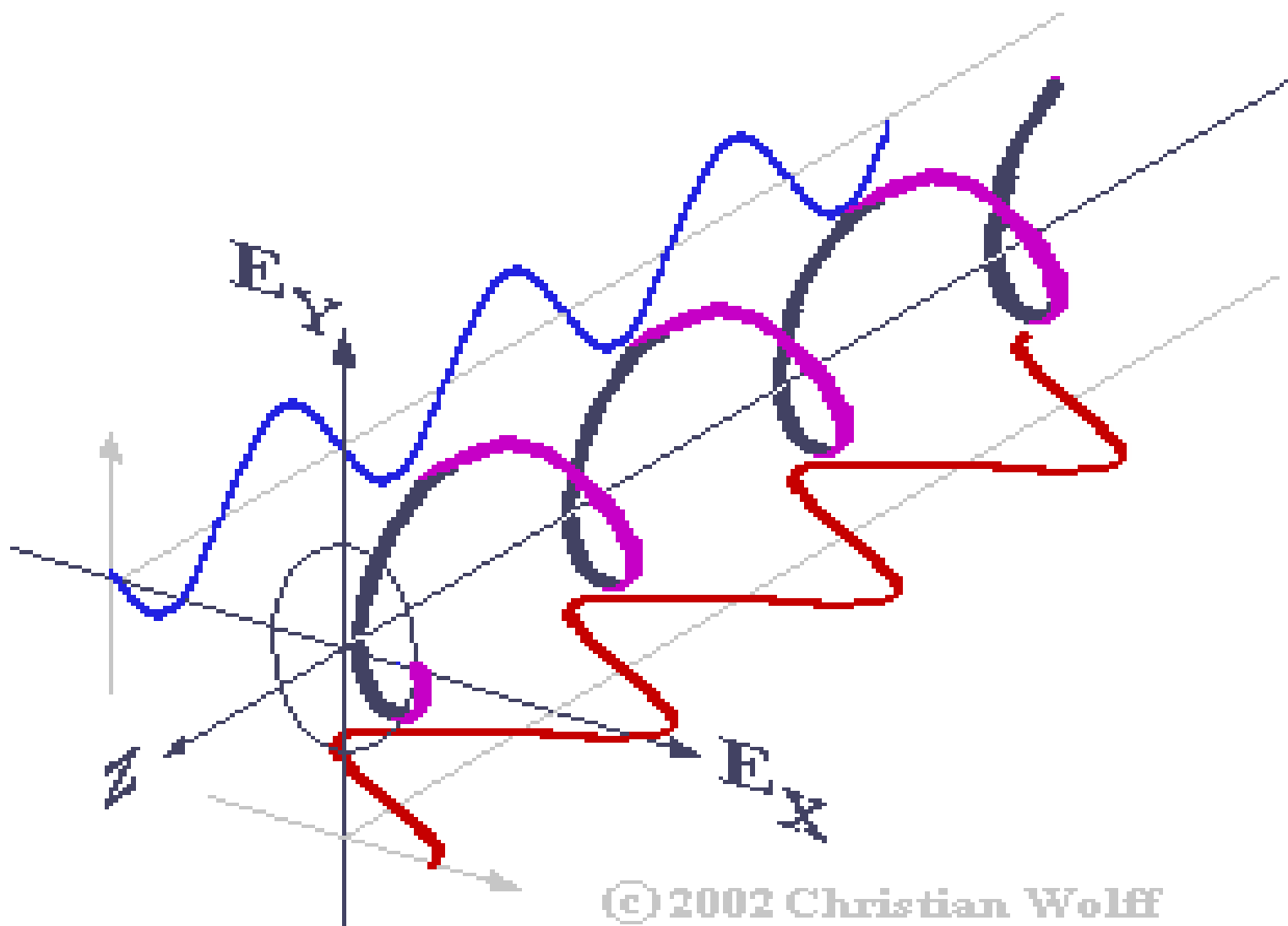
Περίληψη της πόλωσης ($E_{x0}=E_{y0}$)



Linear Polarized

Circular Polarized



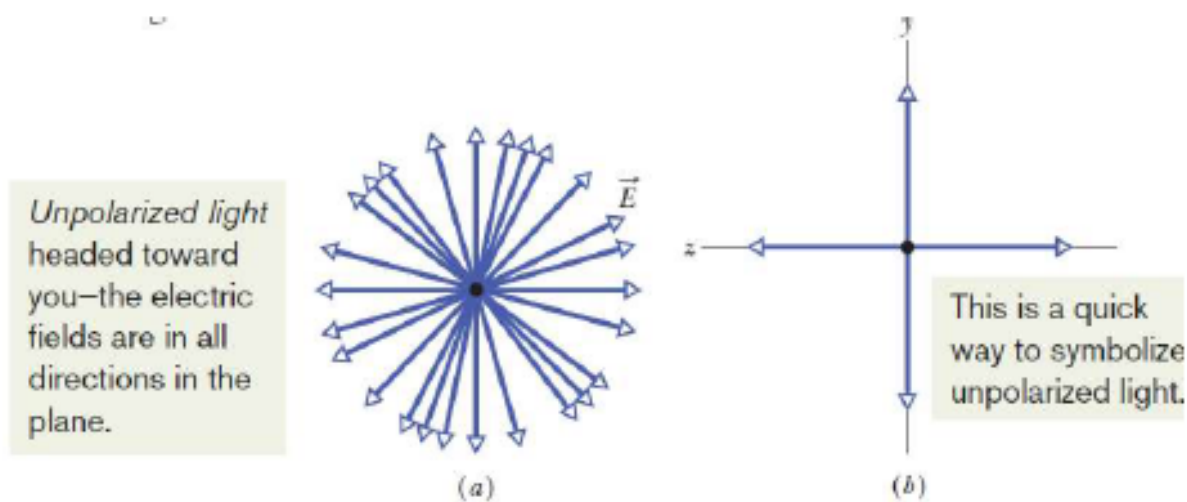


© 2002 Christian Wolff

Μη πολωμένο φως

- Το ηλεκτρικό πεδίο αλλάζει τυχαία διεύθυνση πάνω στο επίπεδο που είναι κάθετο στη διεύθυνση διάδοσης του ΗΜ κύματος
π.χ. Φως από λάμπα πυράκτωσης

Ε μη σταθερό στο χρόνο



Διάδοση του πολωμένου φωτός

Γραμμικός πολωτής – πολωτικά φίλτρα

Γραμμικός Πολωτής (linear polarizer): επιτρέπει μόνο την διέλευση φωτός που είναι πολωμένο παράλληλα προς τον λεγόμενο άξονα διέλευσης

Ας υποθέσουμε ότι γραμμικά πολωμένο φως, έντασης I_0 , έχει το ηλεκτρικό του πεδίο, που κείται στο επίπεδο xy , να σχηματίζει γωνία θ με τον άξονα διέλευσης του πολωτικού φίλτρου, που εδώ είναι ο άξονας y (όπως φαίνεται στο σχήμα).

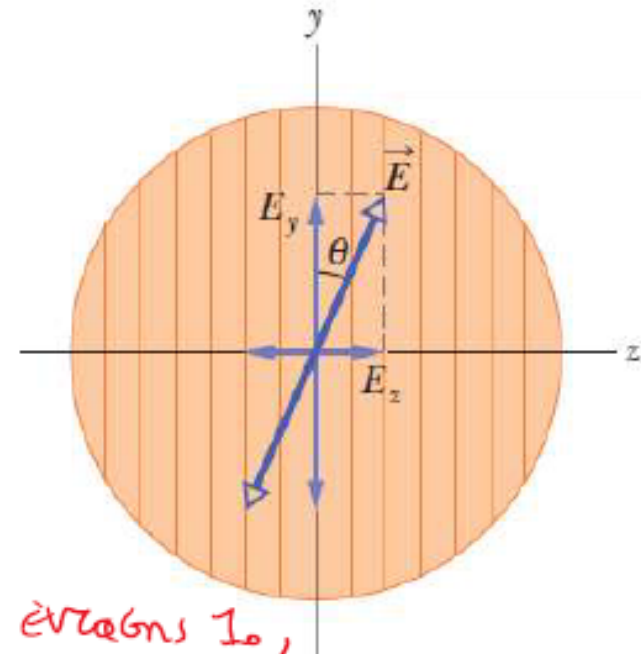
Μόνο η y συνιστώσα του ηλεκτρικού πεδίου θα διέλθει από το φίλτρο, δηλ. $E_y = E \cos \theta$

Η ένταση του φωτός όπως ξέρουμε είναι ανάλογη του E^2 , άρα

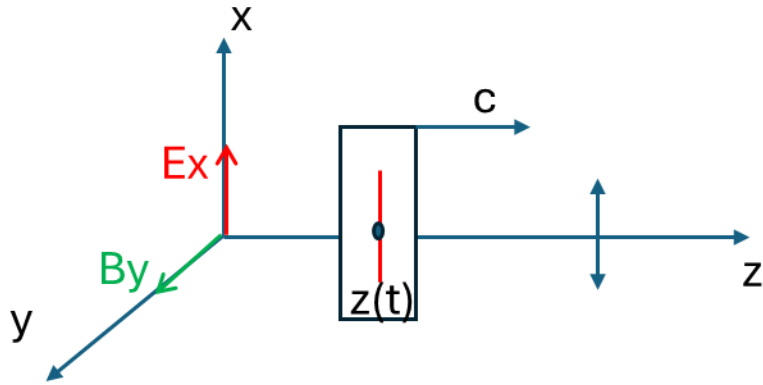
$$\frac{I}{I_0} = \frac{E_y^2}{E^2} = \frac{E^2 \cos^2 \theta}{E^2} = \cos^2 \theta \Rightarrow I = I_0 \cos^2 \theta$$

Νόμος του Malus

Αν φυσικό φως πέρασει στο πολωτικό φίλτρο, έντασης I_0 , τότε η ένταση του διερχόμενου φωτός που θα είναι πόλωμένο γραμμικά κατά τον άξονα διέλευσης, θα είναι $I = \frac{1}{2} I_0$ ($\langle \cos^2 \theta \rangle = 1/2$)



$$I = \frac{\text{Ενέργεια}}{\text{Χρόνο} \times \text{Επιφάνεια}} = K |\vec{E}_0|^2$$



$$I = K |\vec{E}_{x0}|^2$$

$$I_0 = K |\vec{E}_0|^2 = K (E_{x0}^2 + E_{y0}^2)$$

$$\langle E_{x0}^2 \rangle_T = \langle E_{y0}^2 \rangle_T$$

$$I = \frac{I_0}{2}$$

$$E_x(z,t) = E_{x0} \cos[2\pi(z/\lambda - ft)], \text{ για } \varphi_0 = 2\pi\left(\frac{z}{\lambda} - ft\right)$$

$$\frac{z}{\lambda} = \frac{\varphi_0}{2\pi} + ft \rightarrow z(t) = \frac{\lambda\varphi_0}{2\pi} + \lambda ft \rightarrow z(t) = \frac{\lambda\varphi_0}{2\pi} + ct$$

Διπλοθλαστικά υλικά

Διπλοθλαστικά ονομάζονται τα υλικά που έχουν δύο δείκτες διάθλασης, ανάλογα με την κατεύθυνση της δέσμης σχετικά με τον οπτικό άξονα του υλικού.

Όταν ένα Η/Μ κύμα ταξιδεύει μέσα σ' ένα διπλοθλαστικό κρύσταλλο το οποίο έχει συνιστώσα κατά μήκος του οπτικού άξονα του κρυστάλλου τότε ανάλογα με το πόση είναι η προβολή του συνολικού Ηλεκτρικού πεδίου πάνω σ' αυτόν τον άξονα έχουμε και διαφορετική ταχύτητα διάδοσης του κύματος.

Ακτίνες που το ηλεκτρικό τους πεδίου **δεν έχει προβολή** πάνω στον οπτικό άξονα του διπλοθλαστικού κρυστάλλου ονομάζονται **ΤΑΚΤΙΚΕΣ**.

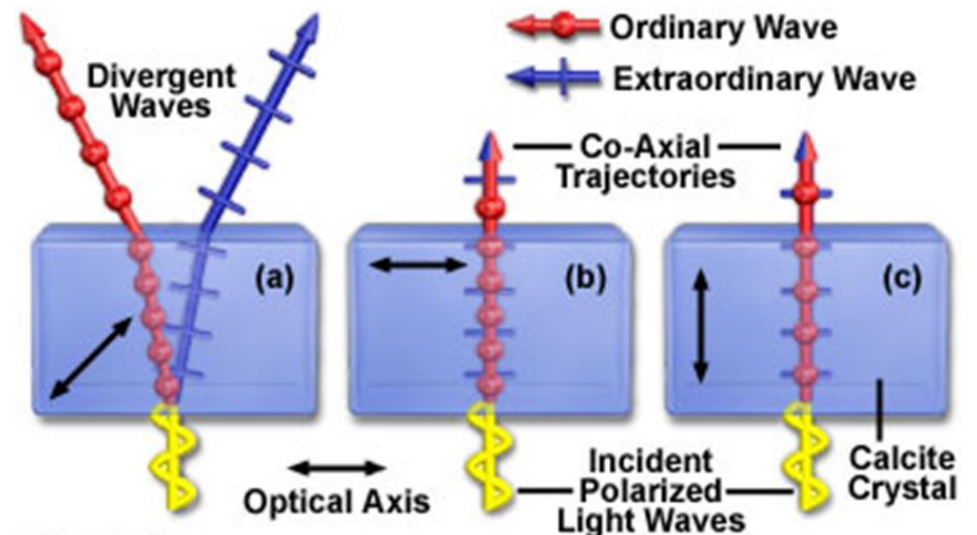
Οι ακτίνες που το ηλεκτρικό τους πεδίου **έχει προβολή** στον οπτικό άξονα του διπλοθλαστικού κρυστάλλου ονομάζονται **ΕΚΤΑΚΤΕΣ**.

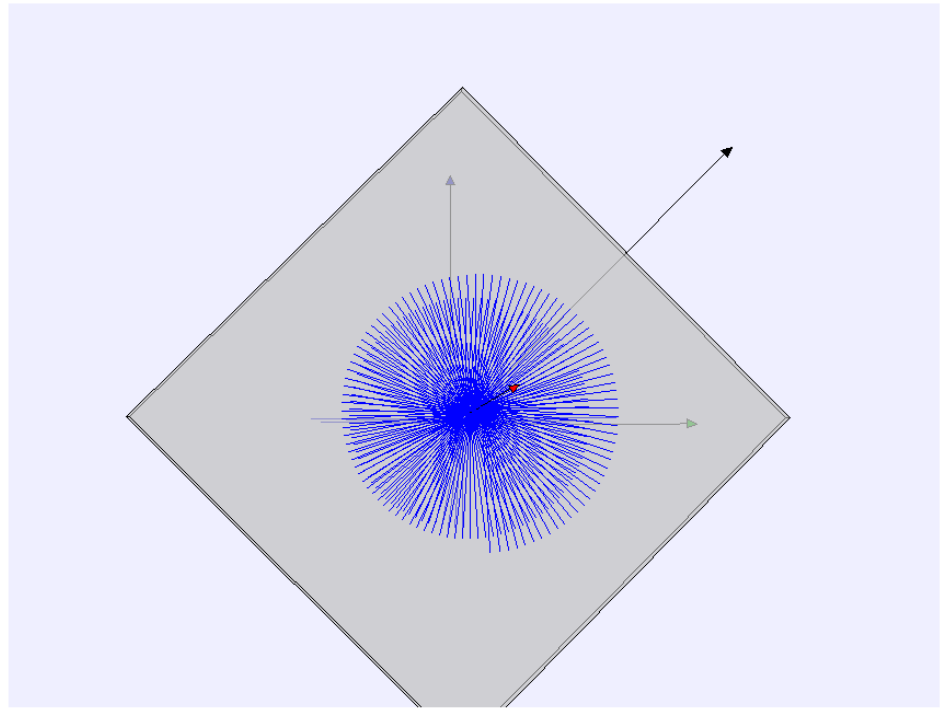
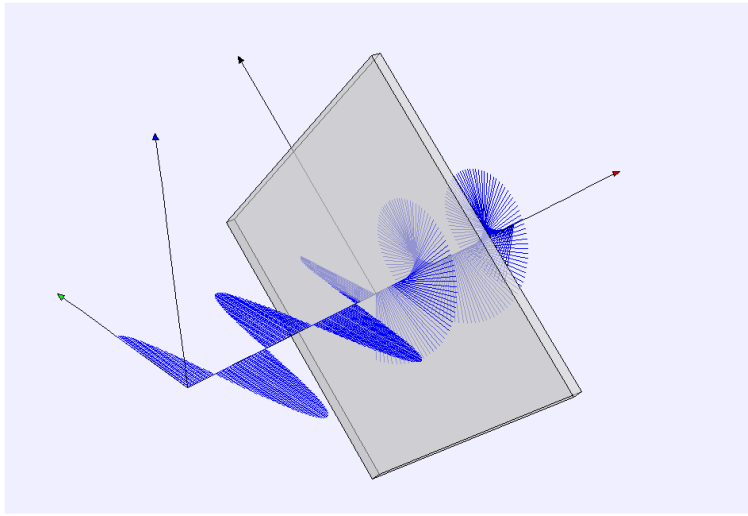
Αντιστοιχούν σε διαφορετικούς δείκτες διάθλασης.

Έχουμε 2 διαφορετικές διαθλώμενες ακτίνες και το φαινόμενο ονομάζεται ΔΙΠΛΟΘΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ.

Οι διπλοθλαστικοί κρύσταλλοι χρησιμοποιούνται κυρίως για να επιτύχουμε διαφορά φάσης ανάμεσα στην τακτική και στην έκτακτη ακτίνα.

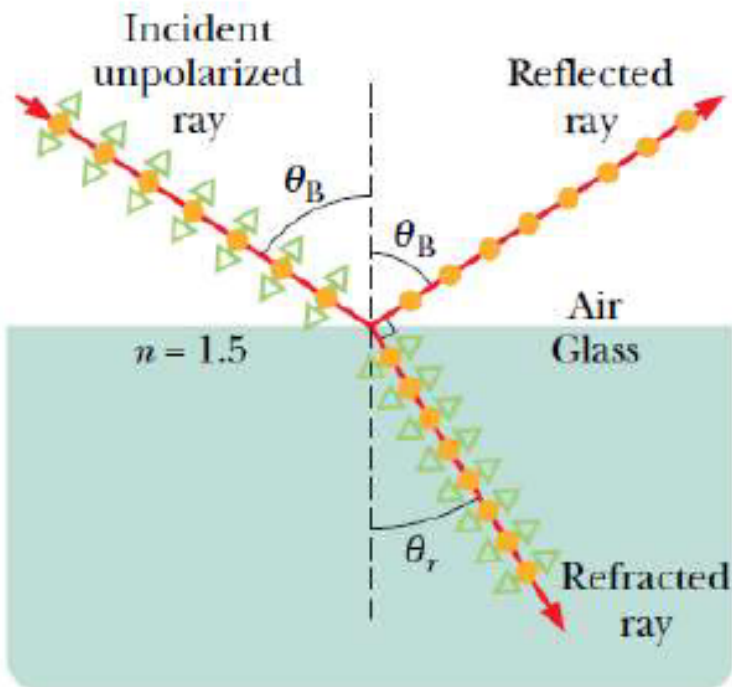
Separation of Light Waves by a Birefringent Crystal





Πόλωση από ανάκλαση – γωνία Brewster

Η αιτία για την εκπομπή του ανακλώμενου και του διαθλώμενου Η/Μ κύματος είναι η ταλάντωση που κάνουν τα δίπολα που συνιστούν το υλικό με δείκτη διάθλασης n . Τα δίπολα ταλαντώνονται (δηλαδή, εκπομπή Η/Μ κύματος) κατά μήκος της διεύθυνσης του διαθλώμενου



- Component perpendicular to page
- ↔ Component parallel to page

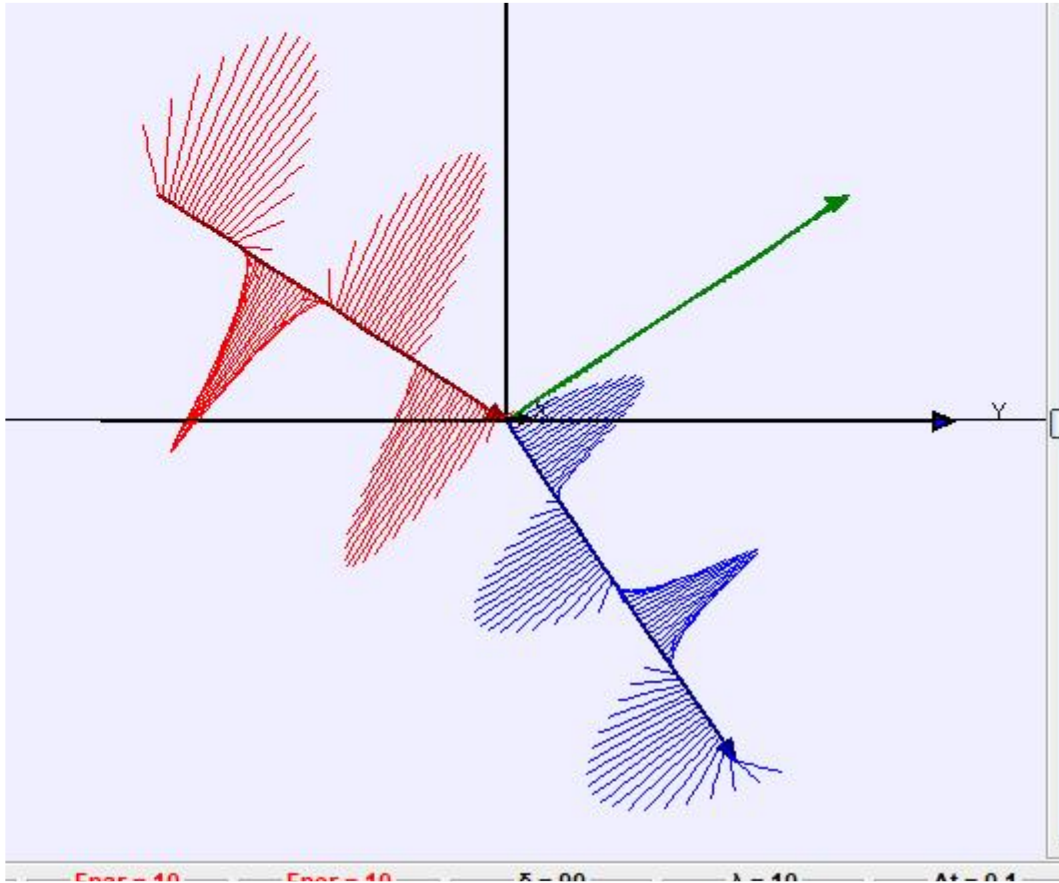
Για κατάλληλη γωνία πρόσπτωσης, που ονομάζεται γωνία Brewster η διαθλώμενη και η ανακλώμενη ακτίνα είναι μεταξύ τους κάθετες, και ισχύει

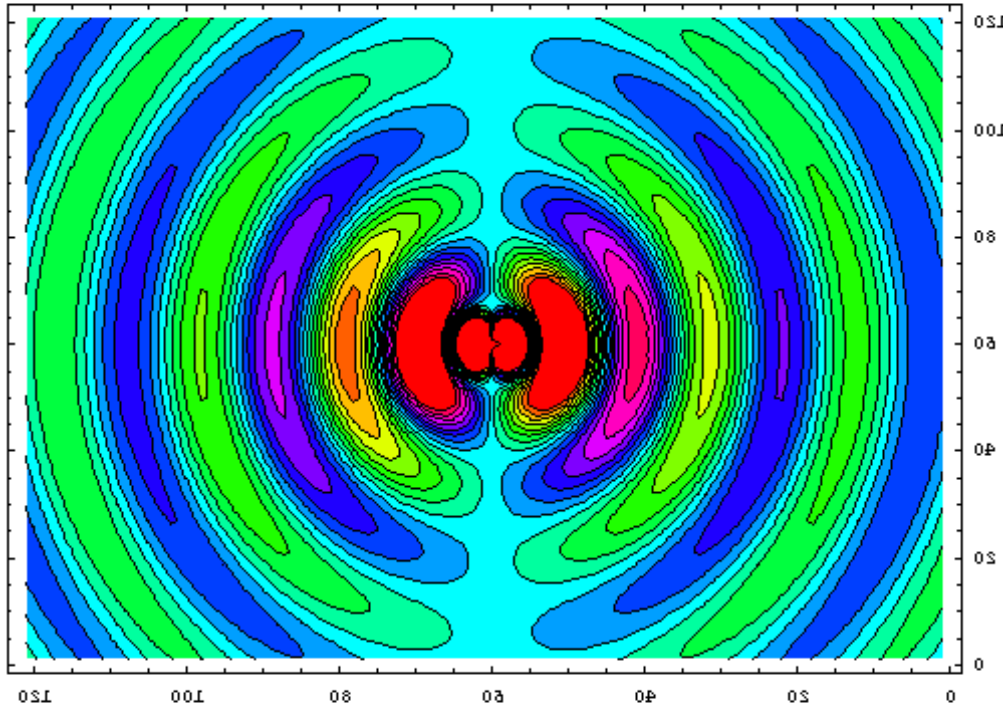
$$\theta_B + \theta_r = 90^\circ, \quad \Rightarrow \quad n_1 \sin \theta_B = n_2 \sin(90^\circ - \theta_B) = n_2 \cos \theta_B,$$
$$n_1 \sin \theta_B = n_2 \sin \theta_r.$$

$$\Rightarrow \quad \theta_B = \tan^{-1} \frac{n_2}{n_1} \quad (\text{Brewster angle}).$$

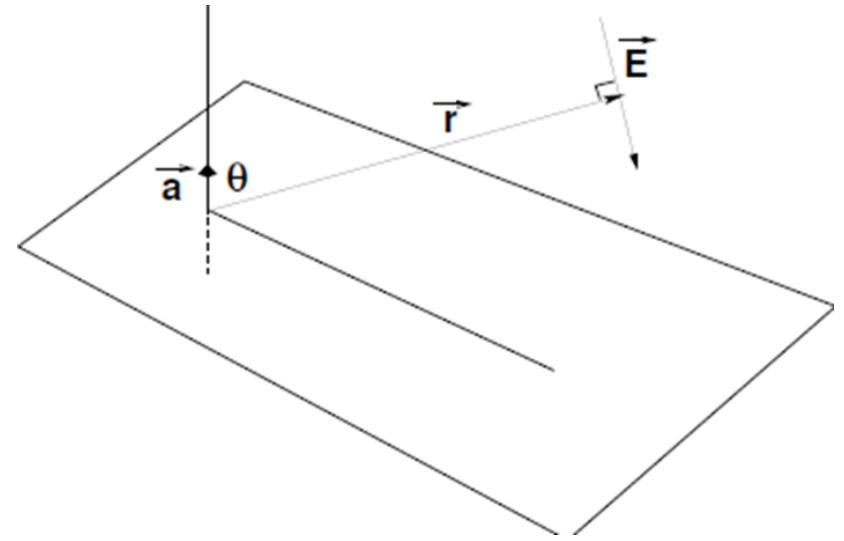
Όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με τη γωνία Brewster, αποδεικνύεται πειραματικά και θεωρητικά, ότι η ανακλώμενη ακτίνα είναι γραμμικά πολωμένη, κάθετα στη σελίδα.

Άρα αν το προσπίπτον φως υπό τη γωνία Brewster είναι κατάλληλα γραμμικά πολωμένο (πράσινα βέλη μόνο), τότε δεν θα έχω καθόλου ανακλώμενο φως.





Μια αναπαράσταση
του πεδίου στο χώρο



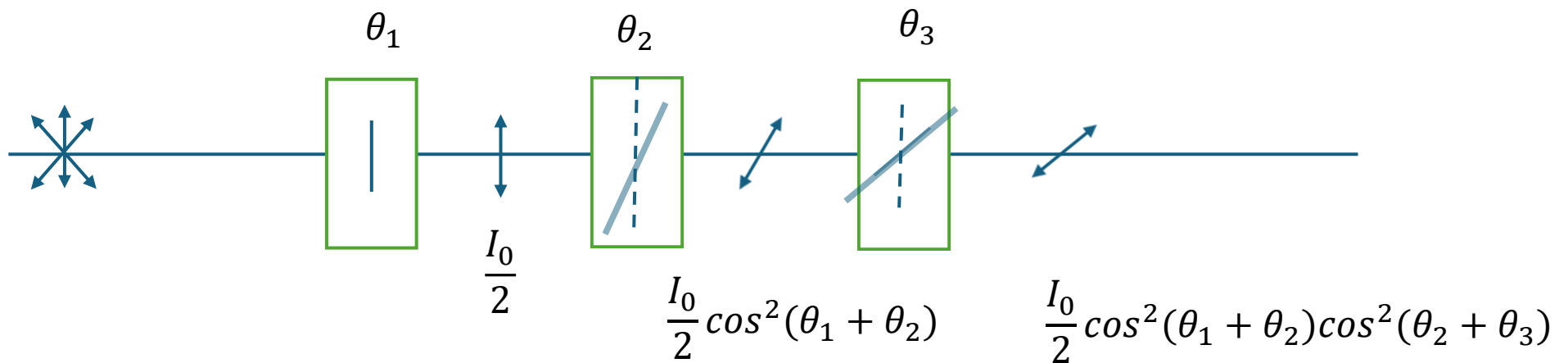
$$\alpha = -\omega^2 x_0 \cos \omega t = \alpha_0 \cos \omega t$$

$$E_{\theta} = -q \sin \theta \frac{a_0 \cos \omega(t - r/c)}{4\pi \epsilon_0 r c^2}$$

Λόγω του όρου $\sin \theta$ δεν έχουμε \vec{E} κατά την
διεύθυνση ταλάντωσης του φορτίου.

Άσκηση 1

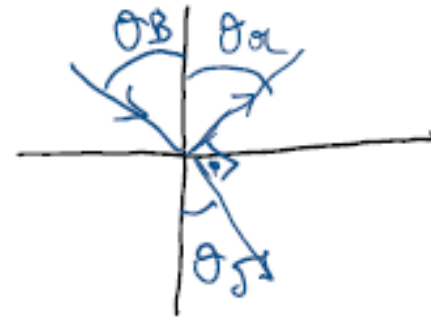
Αρχικά μη πολωμένο φως στέλνεται προς ένα σύστημα τριών πολωτικών φύλλων των οποίων οι διευθύνσεις πόλωσης σχηματίζουν γωνίες θ_1 , θ_2 και θ_3 με τον άξονα y , όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα. Τι ποσοστό της αρχικής έντασης εξέρχεται από το σχήμα;



Άσκηση 2

Φως που διαδίδεται στο νερό με δείκτη διάθλασης 1.33 προσπίπτει σε γυάλινο πλακίδιο με δείκτη διάθλασης 1.53. Για ποια γωνία πρόσπτωσης πολώνεται πλήρως το ανακλώμενο φως;

$$\theta_i = \theta_{\text{Brewster}}$$



$$\theta_B + \theta_T = 90^\circ \quad (1)$$

Νόμος Snell : $n_1 \sin \theta_B = n_2 \sin \theta_T$ (2)

$$(1), (2) \Rightarrow n_1 \sin \theta_B = n_2 \cos \theta_B \Rightarrow \tan \theta_B = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1.53}{1.33} \Rightarrow \theta_B = 49^\circ$$

Καθημερινές Εφαρμογές

