

**ΑΝΩΤΑΤΗ
ΣΧΟΛΗ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ**

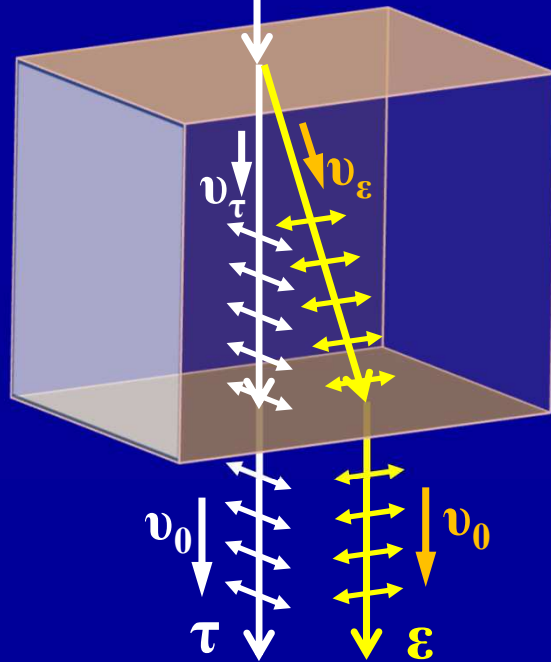
| ΜΑΘΗΜΑ | ΤΜΗΜΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ |
|------------------|--|
| ΦΥΣΙΚΗ | Ηλεκτρολόγων – Ηλεκτρονικών Μηχανικών |
| ΦΥΣΙΚΗ | Μηχανολόγων Μηχανικών |
| ΦΥΣΙΚΗ ΙΙ | Πολιτικών Μηχανικών |

Καθηγητής Σιδεράς Ευστάθιος

- **Διπλοθλαστικότητα**
- **Πλακίδια $\lambda/4$**
- **Πολαροσκόπιο**
- **Λεπτά Υμένια**

Διπλοθλαστικότητα

Φυσικό (μη πολωμένο) φως
με ταχύτητα διάδοσης v_0



Τακτική ακτίνα
Ταχύτητα διάδοσης v_τ
Δείκτης διάθλασης n_τ

$$n_\tau = \frac{v_0}{v_\tau}$$

Έκτακτη ακτίνα
Ταχύτητα διάδοσης v_ϵ
Δείκτης διάθλασης n_ϵ

$$n_\epsilon = \frac{v_0}{v_\epsilon}$$

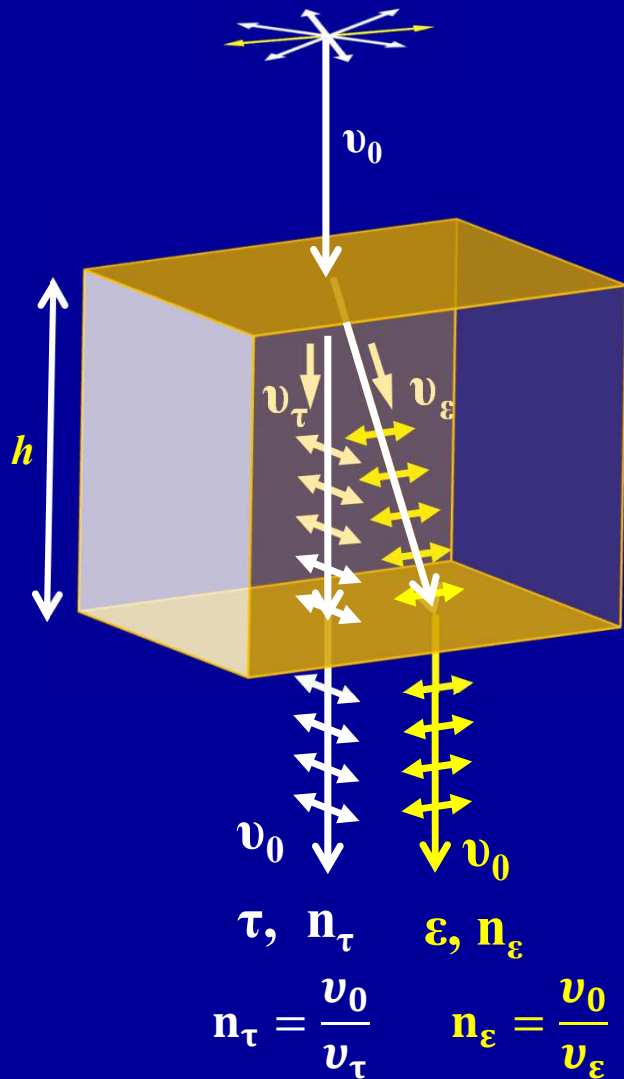
Επίπεδα πόλωσης κάθετα μεταξύ τους

Τακτική και έκτακτη ακτίνα διανύουν πρακτικά το ίδιο διάστημα μέσα στον κρύσταλλο.

Διπλοθλαστικά Υλικά ($\lambda=590 \text{ nm}$)

| Υλικό | Δομή | n_τ | n_ϵ |
|--------------------------------------|-----------|----------|--------------|
| Ασβεστίτης (CaCO_3) | Τριγωνική | 1,658 | 1,486 |
| Ρουβίδιο (Al_2O_3) | Τριγωνική | 1,770 | 1,762 |
| Πάγος H_2O | Εξαγωνική | 1,309 | 1,313 |
| Χαλαζίας (SiO_2) | Τριγωνική | 1,544 | 1,553 |
| Καρβίδιο Πυριτίου | Εξαγωνική | 2,647 | 2,693 |

Διπλοθλαστικότητα



Η τακτική ακτίνα διανύει το διάστημα h σε χρόνο:

$$t_\tau = \frac{h}{v_\tau} = \frac{h}{\frac{v_0}{n_\tau}} \Rightarrow t_\tau = \frac{h}{v_0} n_\tau$$

Η έκτακτη ακτίνα διανύει το διάστημα h σε χρόνο:

$$t_\epsilon = \frac{h}{v_\epsilon} = \frac{h}{\frac{v_0}{n_\epsilon}} \Rightarrow t_\epsilon = \frac{h}{v_0} n_\epsilon$$

Οι δυο ακτίνες εξέρχονται με χρονική καθυστέρηση:

$$\Delta t = t_\tau - t_\epsilon = \frac{h}{v_0} n_\tau - \frac{h}{v_0} n_\epsilon = \frac{h}{v_0} (n_\tau - n_\epsilon)$$

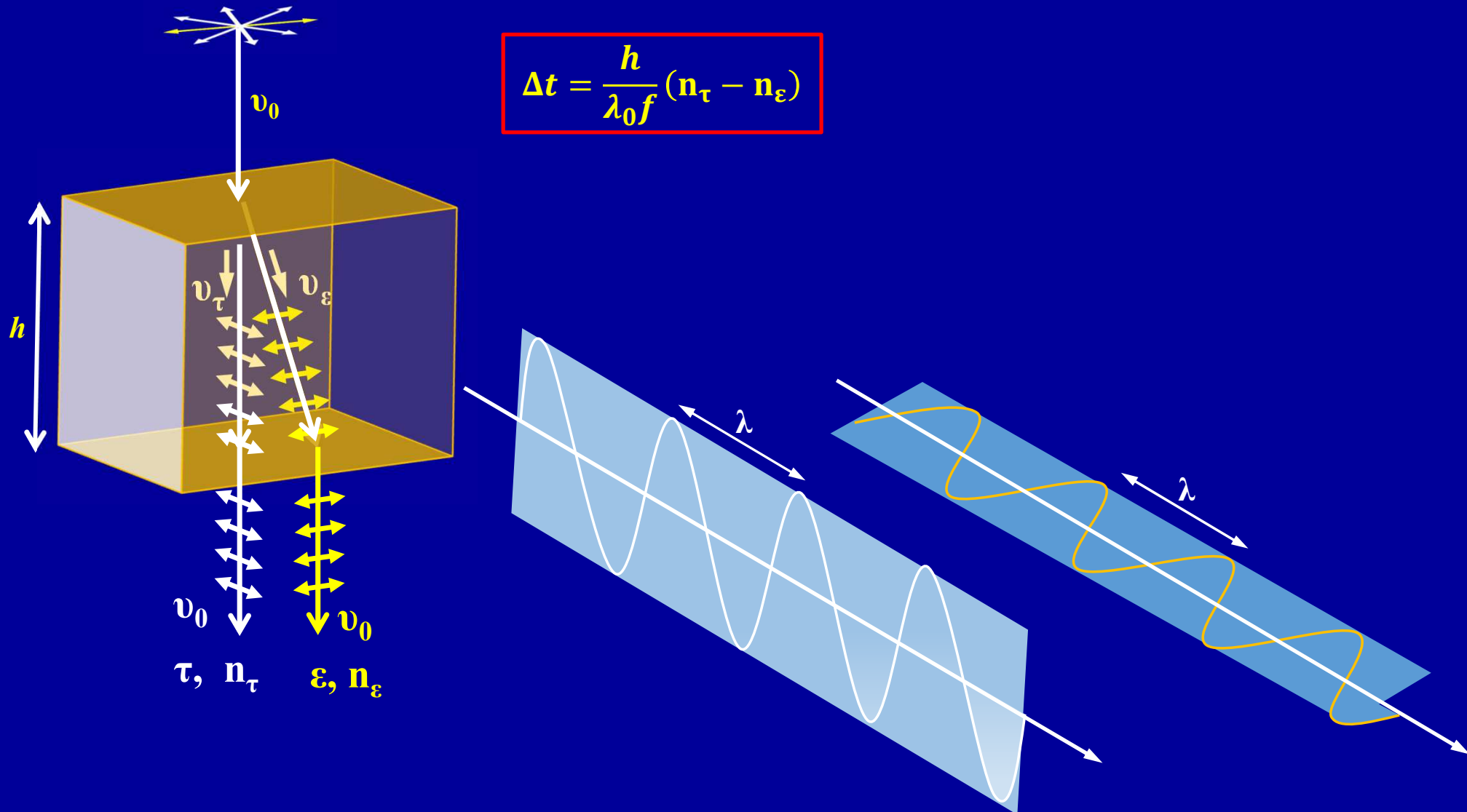
$$v_0 = \lambda_0 f$$

$$\Delta t = \frac{h}{\lambda_0 f} (n_\tau - n_\epsilon)$$

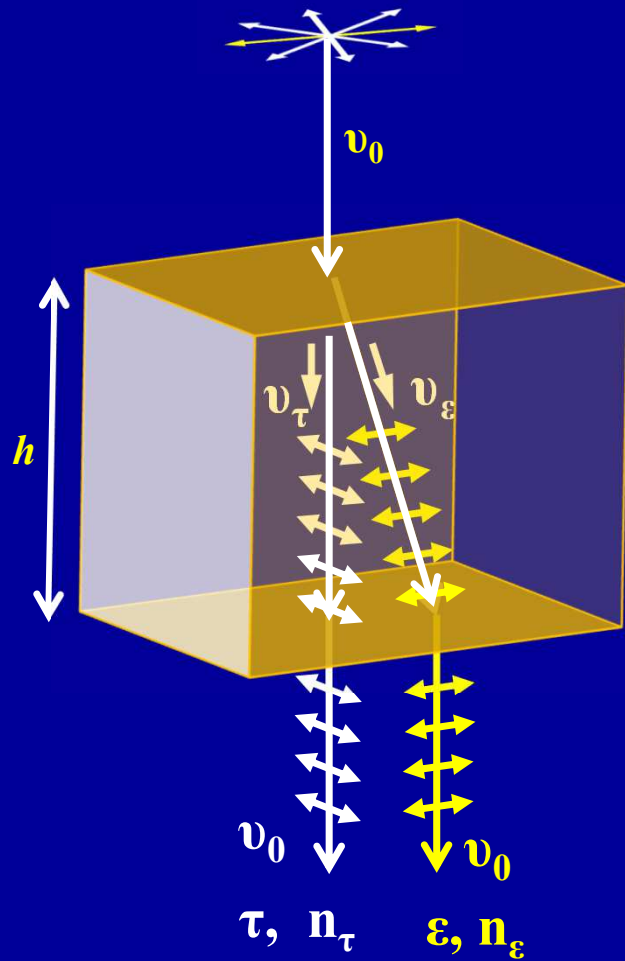
Οι δυο ακτίνες εξέρχονται με διαφορά φάσης: $\Delta\phi = 2\pi f \Delta t \Rightarrow$

$$\Delta\phi = \frac{2\pi h}{\lambda_0} (n_\tau - n_\epsilon)$$

Διπλοθλαστικότητα

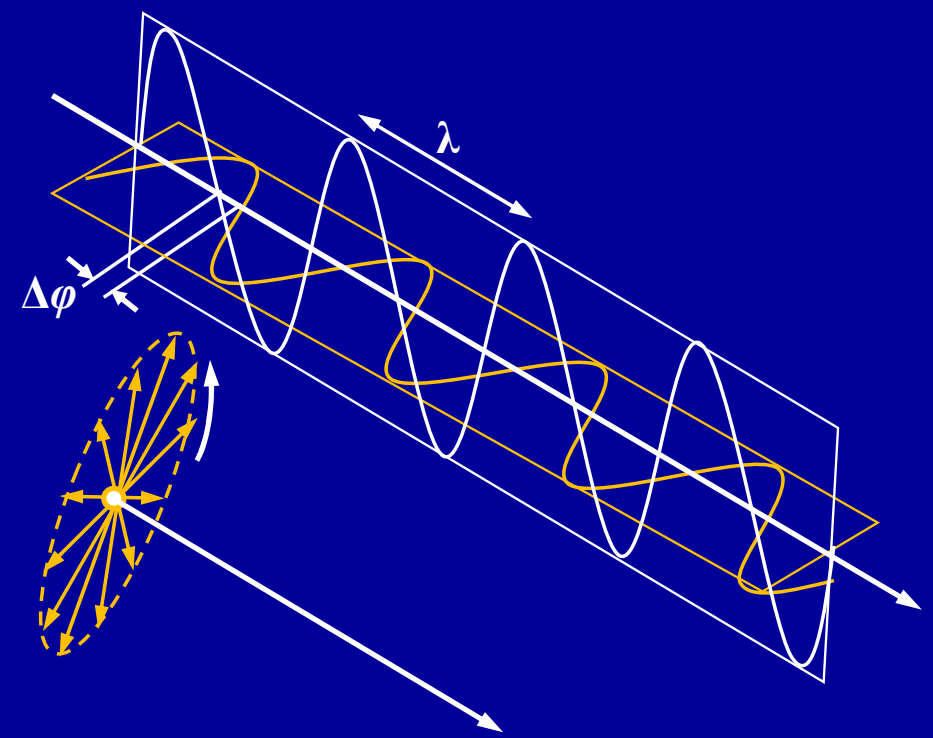


Διπλοθλαστικότητα



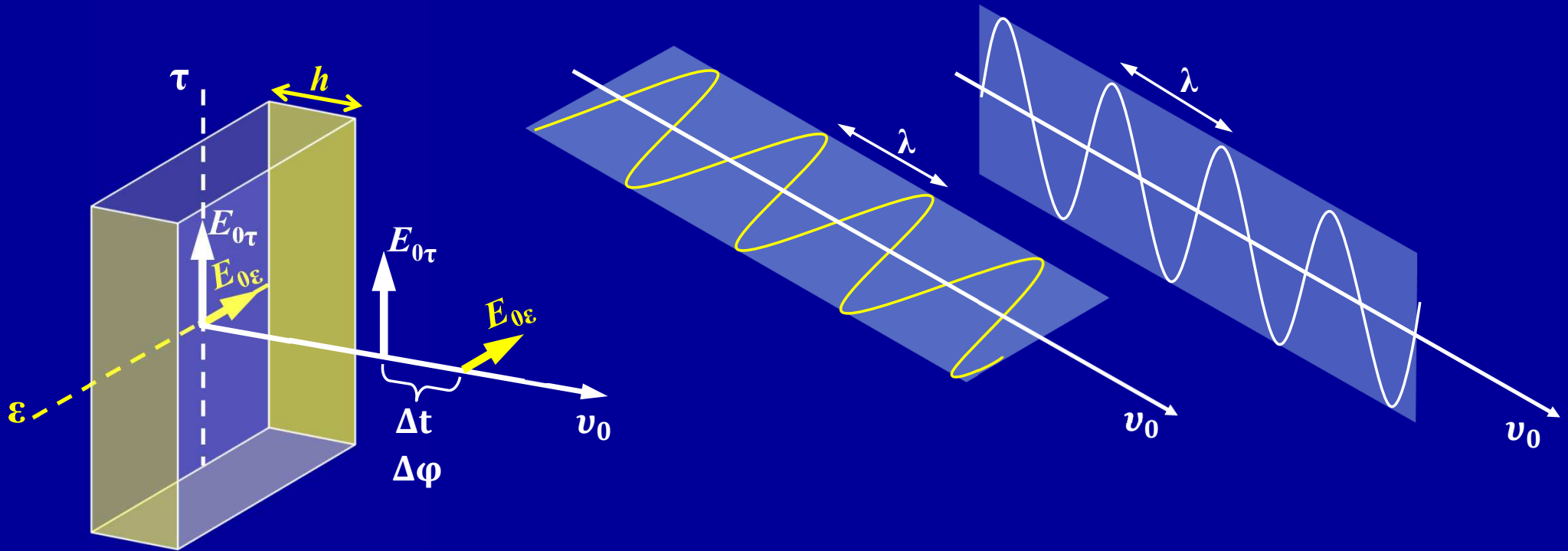
$$\Delta t = \frac{h}{\lambda_0 f} (n_\tau - n_\epsilon)$$

$$\Delta\phi = \frac{2\pi h}{\lambda_0} (n_\tau - n_\epsilon)$$



Ελλειπτικά πολωμένο φως

Διπλοθλαστικότητα – Πλακίδια $\lambda/4$



$$\Delta t = \frac{h}{\lambda_0 f} (n_\tau - n_\varepsilon)$$

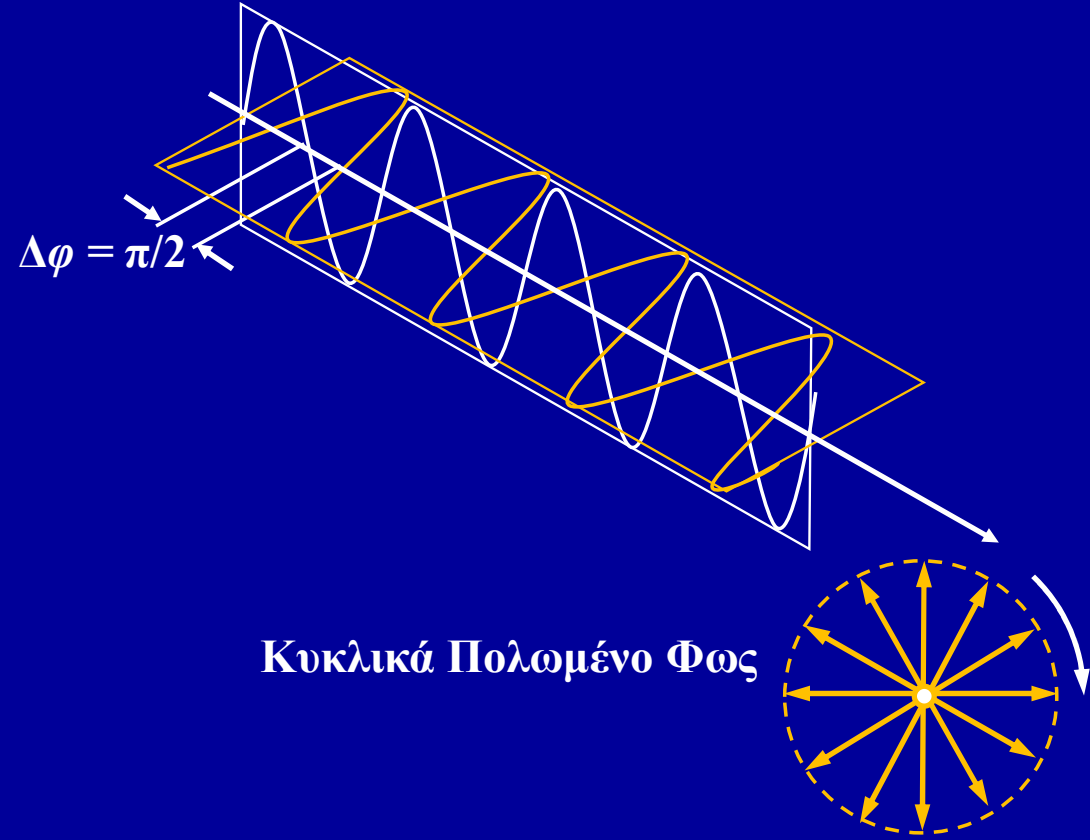
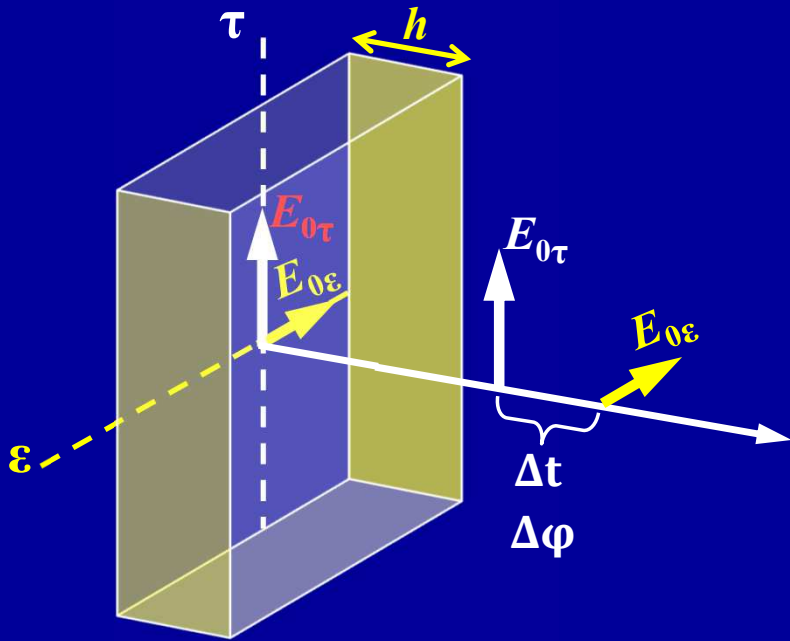
$$\Delta \varphi = \frac{2\pi h}{\lambda_0} (n_\tau - n_\varepsilon)$$

Στα πλακίδια $\lambda/4$ η
διαφορά φάσης
μεταξύ τακτικής και
έκτακτης ακτίνας
είναι $\pi/2$

$$\frac{2\pi h}{\lambda_0} (n_\tau - n_\varepsilon) = \frac{\pi}{2}$$

$$h(n_\tau - n_\varepsilon) = \frac{\lambda_0}{4}$$

Διπλοθλαστικότητα – Πλακίδια $\lambda/4$



$$\Delta t = \frac{h}{v_0} (n_\tau - n_\epsilon)$$

$$\Delta\phi = \frac{2\pi h}{\lambda_0} (n_\tau - n_\epsilon)$$

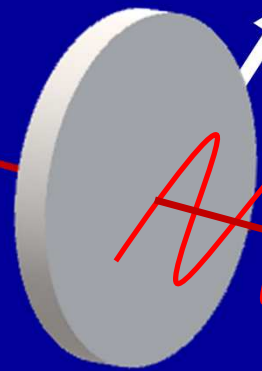
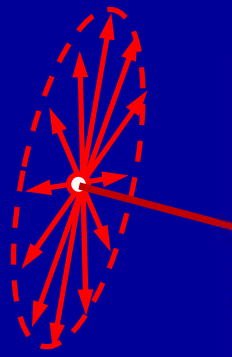
Στα πλακίδια $\lambda/4$ η διαφορά φάσης μεταξύ τακτικής και έκτακτης ακτίνας είναι $\pi/2$

$$\frac{2\pi h}{\lambda_0} (n_\tau - n_\epsilon) = \frac{\pi}{2}$$

$$h(n_\tau - n_\epsilon) = \frac{\lambda_0}{4}$$

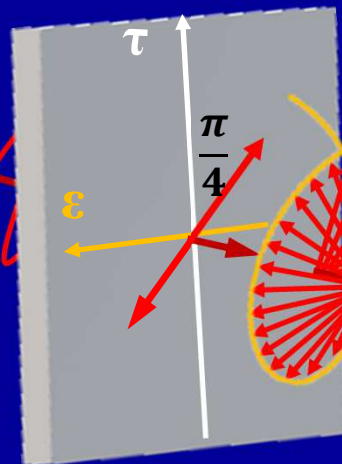
Κυκλικά πολωμένο φως

Φυσικό Φως



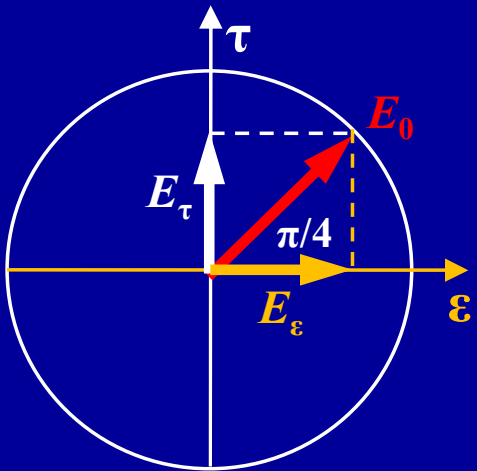
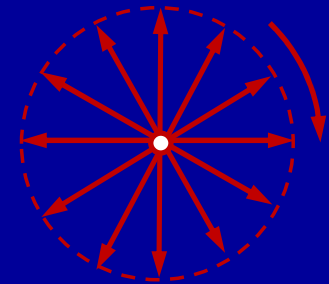
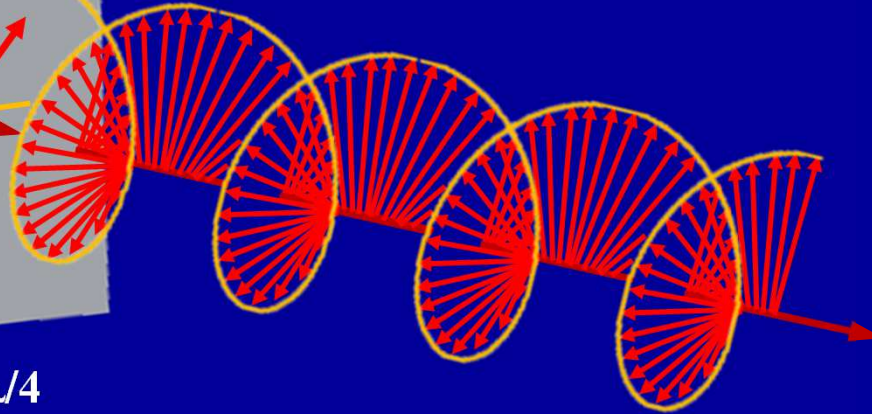
Πολωτής

Γραμμικά
Πολωμένο φως



Πλακίδιο $\lambda/4$

Κυκλικά πολωμένο φως



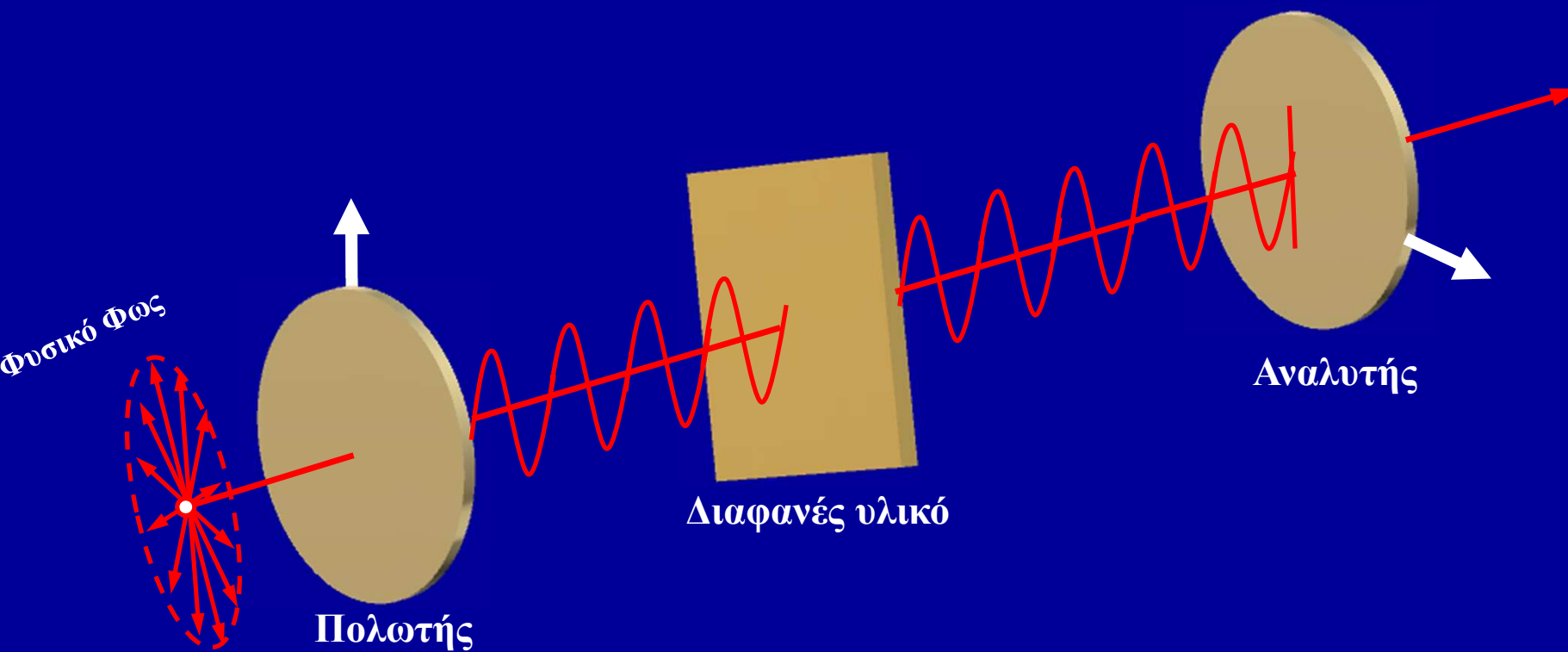
$$E(x, t) = E_0 \sin(kx - \omega t)$$

$$E_\tau(x, t) = \frac{E_0\sqrt{2}}{2} \sin(kx - \omega t)$$

$$E_\varepsilon(x, t) = \frac{E_0\sqrt{2}}{2} \sin\left(kx - \omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

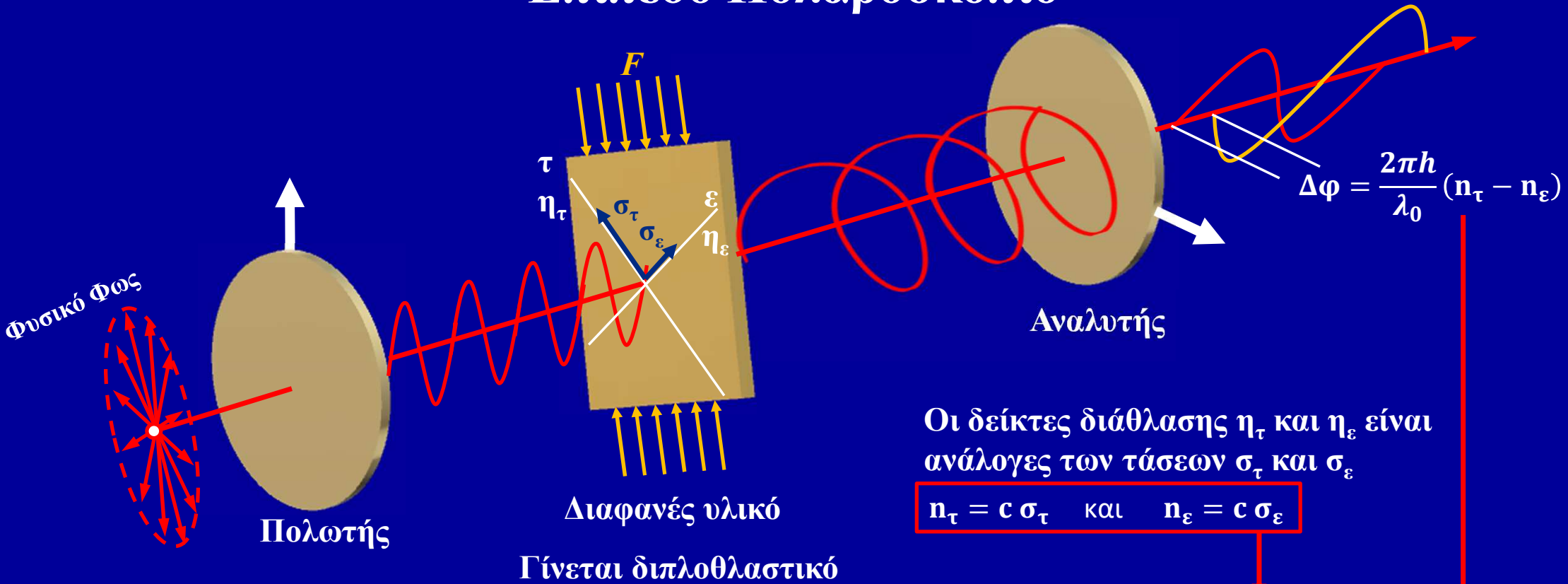
ΦΩΤΟΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

Επίπεδο Πολαροσκόπιο



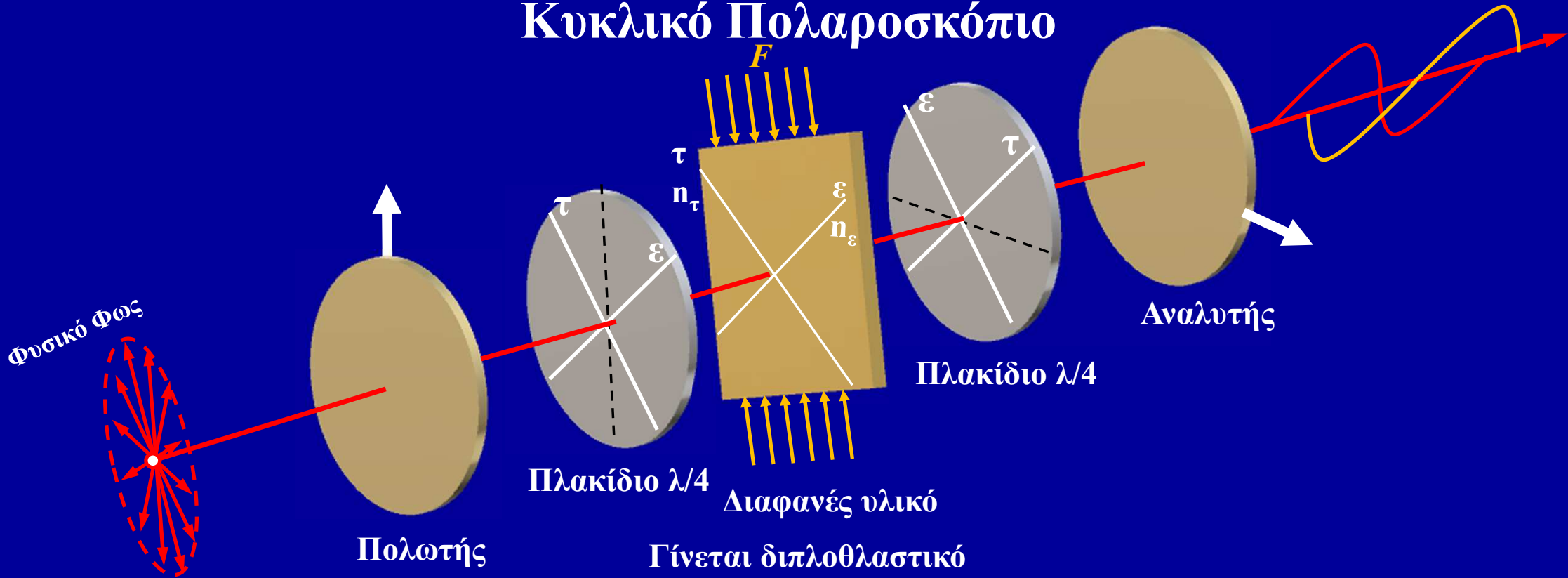
ΦΩΤΟΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

Επίπεδο Πολαροσκόπιο



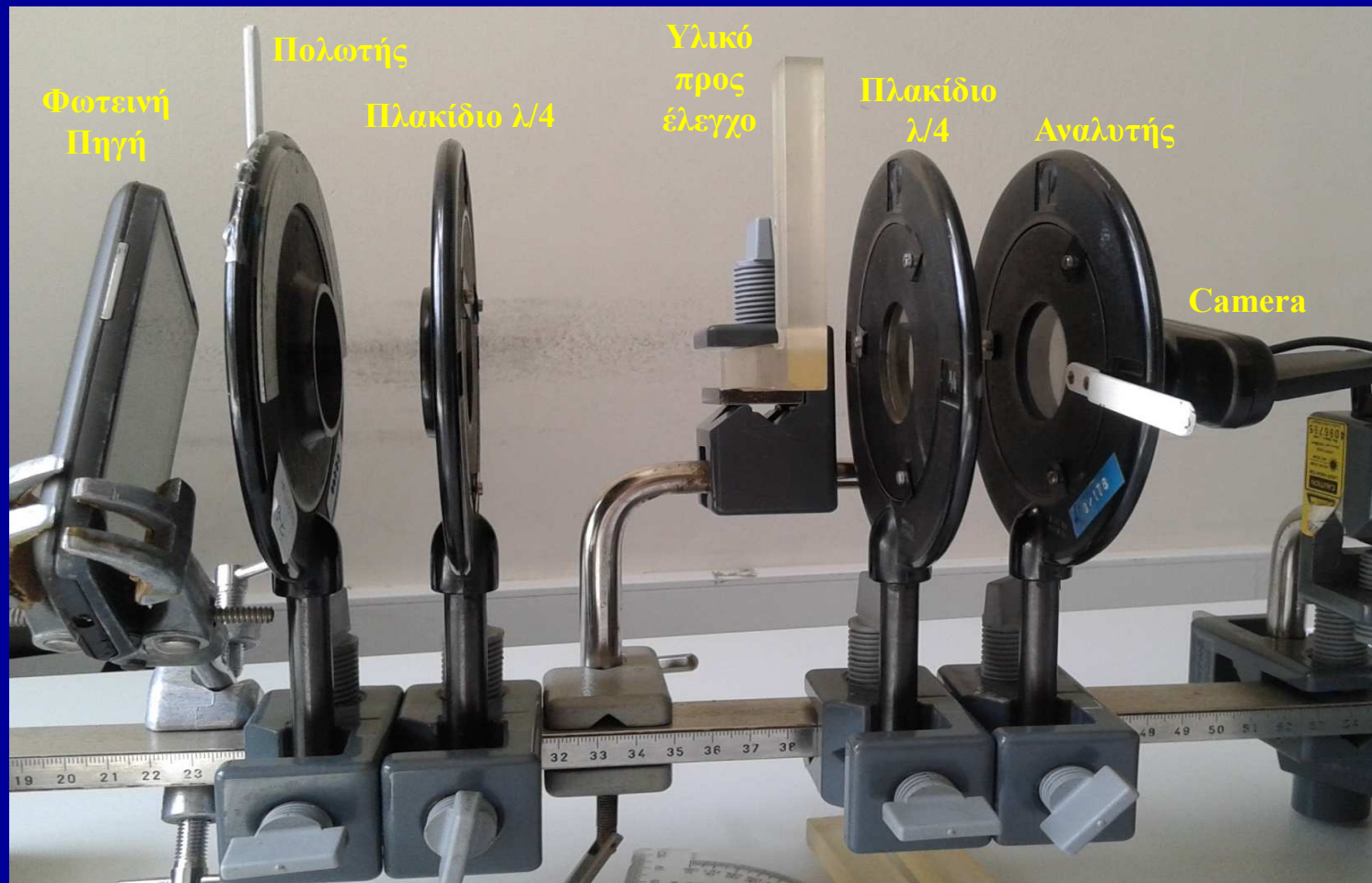
ΦΩΤΟΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

Κυκλικό Πολαροσκόπιο



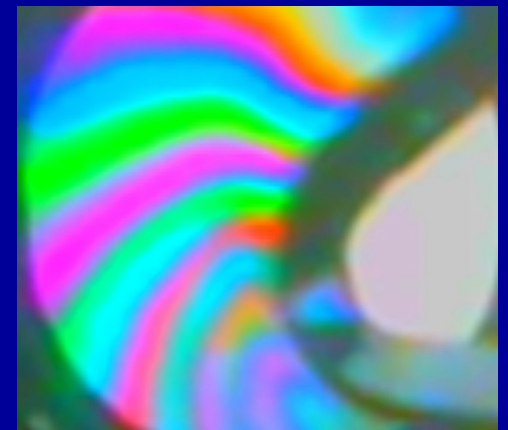
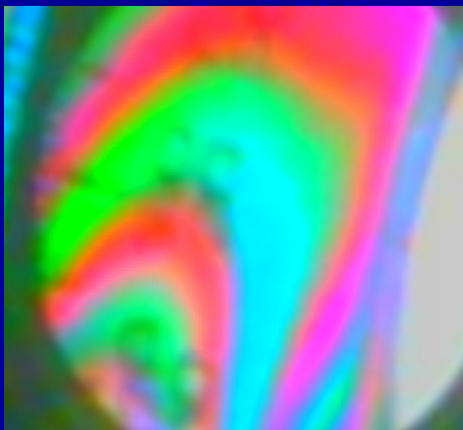
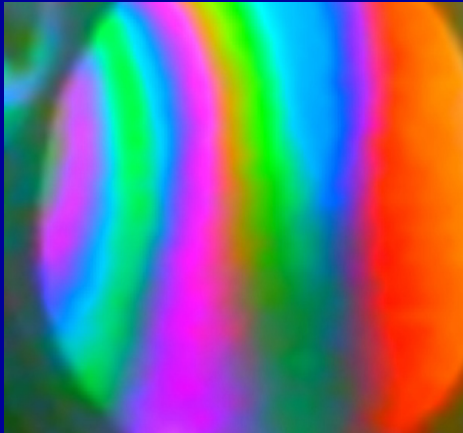
ΦΩΤΟΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

Κυκλικό Πολασκόπιο Εργαστηρίου Φυσικής ΑΣΠΑΙΤΕ



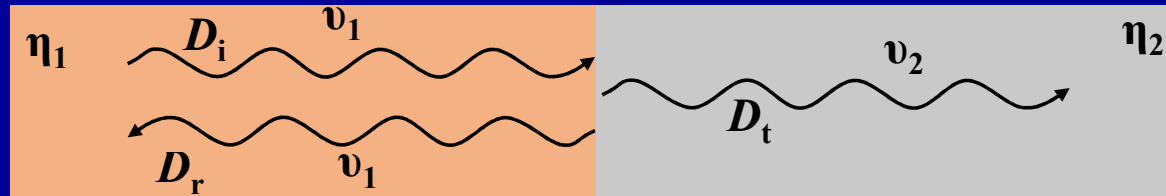
ΦΩΤΟΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

Εικόνες από Κυκλικό Πολαροσκόπιο
Εργαστηρίου Φυσικής ΑΣΠΑΙΤΕ



Ανακλαστικότητα και Διαπερατότητα Φωτεινού Κύματος σε Διαχωριστική Επιφάνεια Δυο Μέσων Διάδοσης με Δείκτες Διάθλασης η_1 και η_2

$$\eta_1 = \frac{v_0}{v_1} \Rightarrow v_1 = \frac{v_0}{\eta_1}$$



$$\eta_2 = \frac{v_0}{v_2} \Rightarrow v_2 = \frac{v_0}{\eta_2}$$

$$\eta_1 > \eta_2$$

Ανακλαστικότητα: $r = \frac{D_r}{D_i} = \frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1} = \frac{\frac{v_0}{\eta_2} - \frac{v_0}{\eta_1}}{\frac{v_0}{\eta_2} + \frac{v_0}{\eta_1}} \Rightarrow$

$$r = \frac{D_r}{D_i} = \frac{\cancel{v_0} \left(\frac{1}{\eta_2} - \frac{1}{\eta_1} \right)}{\cancel{v_0} \left(\frac{1}{\eta_2} + \frac{1}{\eta_1} \right)} = \frac{\eta_1 - \eta_2}{\eta_1 + \eta_2} \Rightarrow$$

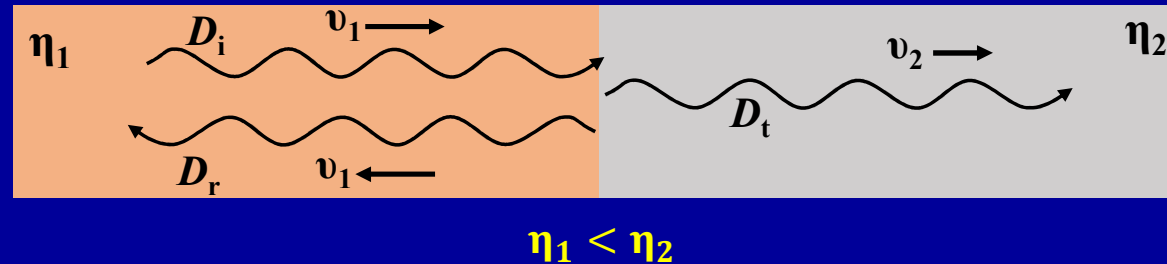
$$r = \frac{D_r}{D_i} = \frac{\eta_1 - \eta_2}{\eta_1 + \eta_2}$$

Διαπερατότητα: $t = \frac{D_t}{D_i} = \frac{2v_2}{v_2 + v_1} = \frac{\frac{2v_0}{\eta_2}}{\frac{v_0}{\eta_2} + \frac{v_0}{\eta_1}} \Rightarrow$

$$t = \frac{D_t}{D_i} = \frac{\cancel{v_0} \frac{2}{\eta_2}}{\cancel{v_0} \left(\frac{1}{\eta_2} + \frac{1}{\eta_1} \right)} = \frac{\frac{2}{\eta_2}}{\frac{\eta_1 + \eta_2}{\eta_1 \eta_2}} \Rightarrow$$

$$t = \frac{D_t}{D_i} = \frac{2\eta_1}{\eta_1 + \eta_2}$$

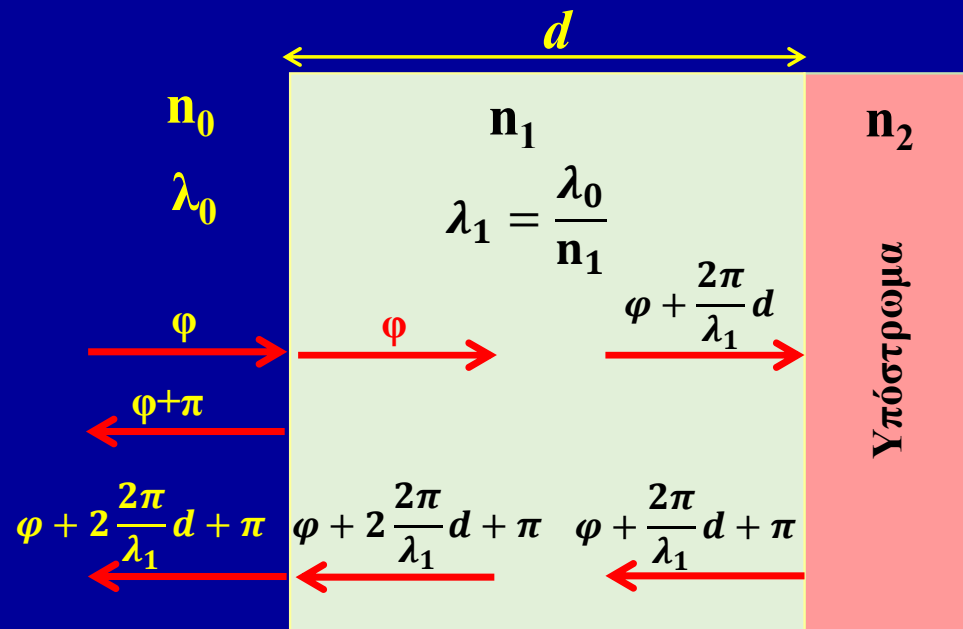
Ανακλαστικότητα και Διαπερατότητα Φωτεινού Κύματος σε Διαχωριστική Επιφάνεια Δυο Μέσων Διάδοσης με Δείκτες Διάθλασης η_1 και η_2



$$t = \frac{D_t}{D_i} = \frac{2\eta_1}{\eta_1 + \eta_2} > 0 \quad \text{Προσπίπτον και διερχόμενο κύμα είναι πάντοτε συμφασικά}$$

$$r = \frac{D_r}{D_i} = \frac{\eta_1 - \eta_2}{\eta_1 + \eta_2} \begin{cases} \eta_1 > \eta_2 \Rightarrow r = \frac{D_r}{D_i} > 0 & \text{Προσπίπτον και ανακλώμενο κύμα είναι συμφασικά} \\ \eta_1 < \eta_2 \Rightarrow r = \frac{D_r}{D_i} < 0 & \text{Προσπίπτον και ανακλώμενο κύμα έχουν διαφορά φάσης } 180^\circ \end{cases}$$

ΛΕΠΤΑ ΟΠΤΙΚΑ ΥΜΕΝΙΑ



Περίπτωση: $n_0 < n_1 < n_2$

Το κύμα εισέρχεται στο υμένιο με την ίδια φάση φ

Και ανακλάτε με φάση $\varphi + \pi$ επειδή $n_1 > n_0$

το κύμα φθάνει στο Υπόστρωμα με φάση: $\varphi + \frac{2\pi}{\lambda_1}d$

Και ανακλάται με φάση:

$\varphi + \frac{2\pi}{\lambda_1}d + \pi$ επειδή $n_1 < n_2$

Το κύμα φθάνει στην επιφάνεια του υμενίου με φάση: $\varphi + 2\frac{2\pi}{\lambda_1}d + \pi$

Και εξέρχεται από το υμένιο

με φάση: $\varphi + 2\frac{2\pi}{\lambda_1}d + \pi$

d = πάχος λεπτού υμενίου

n_1 = δείκτης διάθλασης λεπτού υμενίου

n_2 = δείκτης διάθλασης υποστρώματος

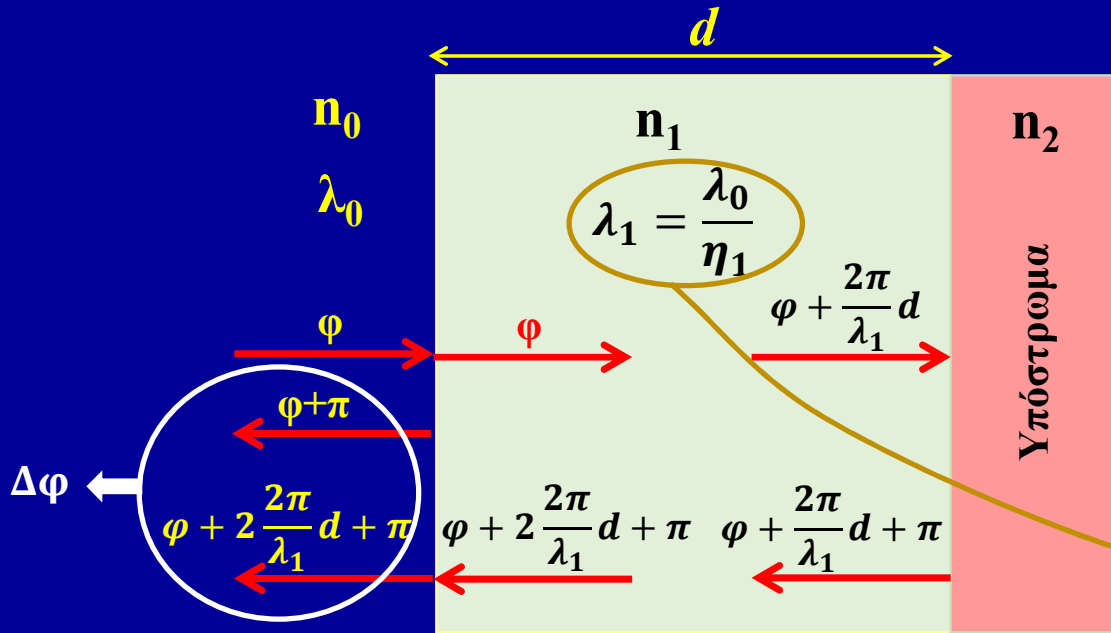
n_0 = δείκτης διάθλασης αέρα

λ_0 = μήκος κύματος στον αέρα

λ_1 = μήκος κύματος στον μέσα στο υμένιο

φ = φάση κύματος στο αέρα

ΛΕΠΤΑ ΟΠΤΙΚΑ ΥΜΕΝΙΑ



Περίπτωση: $n_0 < n_1 < n_2$

Από την επιφάνεια του υμενίου φεύγουν δυο κύματα με διαφορά φάσης:

$$\Delta\phi = \left(\phi + 2\frac{2\pi}{\lambda_1}d + \pi \right) - (\phi + \pi)$$

$$\Delta\phi = \frac{4\pi}{\lambda_1}d \Rightarrow \Delta\phi = \frac{4\pi n_1}{\lambda_0}d$$

Αποσβεστική συμβολή όταν:

$$\Delta\phi = (2m + 1)\pi, \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots \Rightarrow \frac{4\pi n_1}{\lambda_0}d = (2m + 1)\pi$$

$$d = (2m + 1) \frac{\lambda_0}{4n_1}$$

ΣΥΝΘΗΚΗ ΑΝΤΙΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΥ ΥΜΕΝΙΟΥ