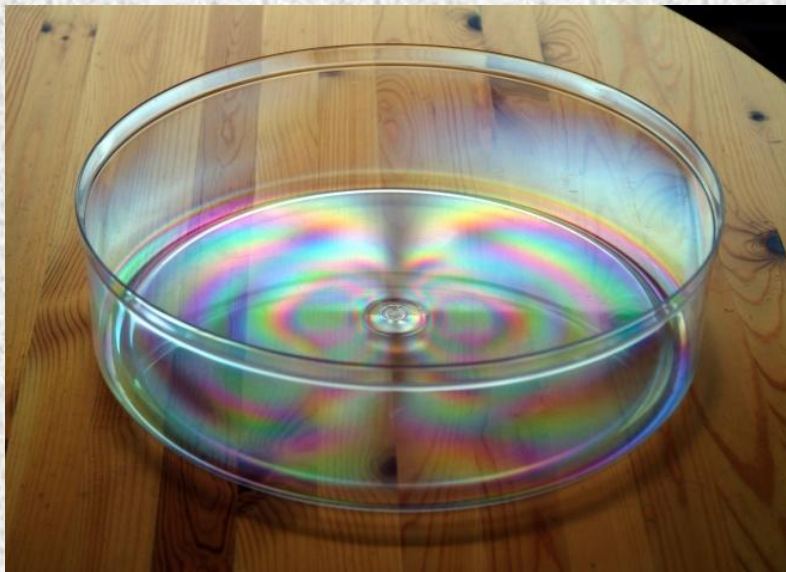
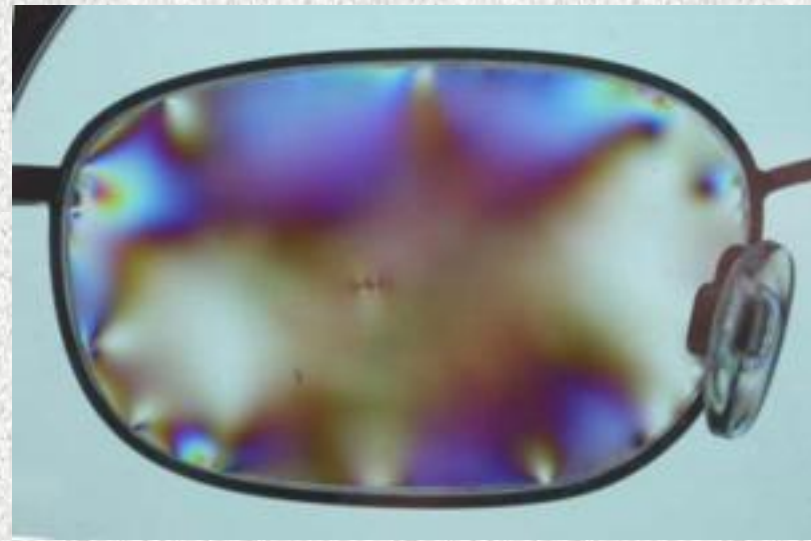


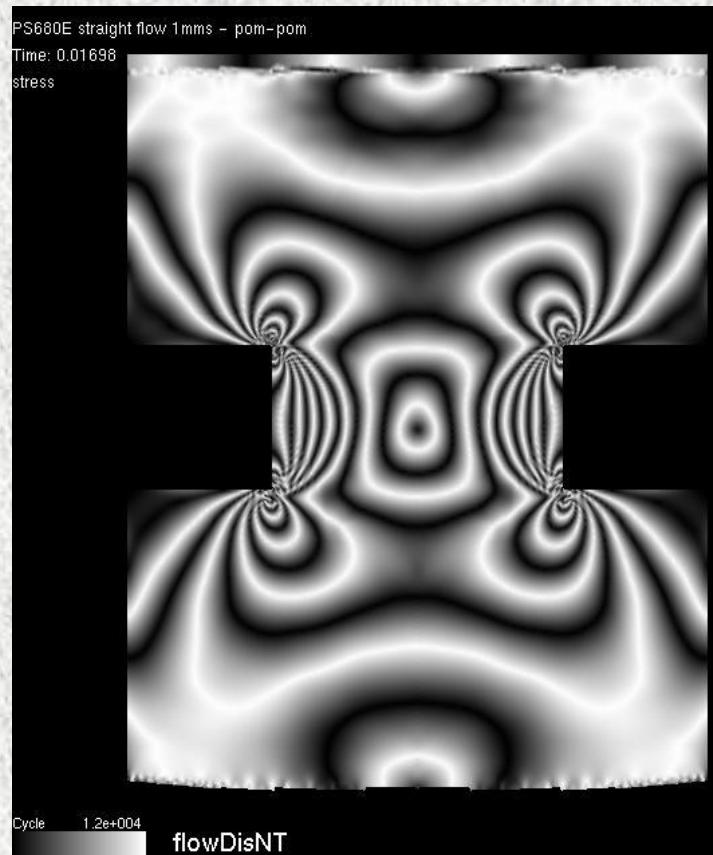
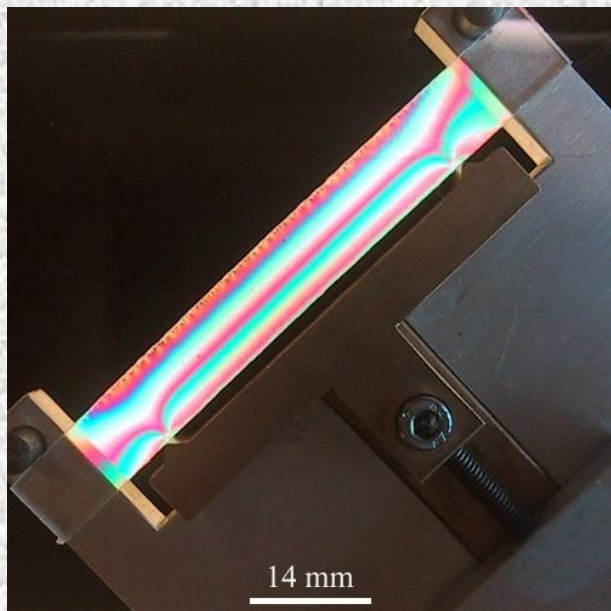
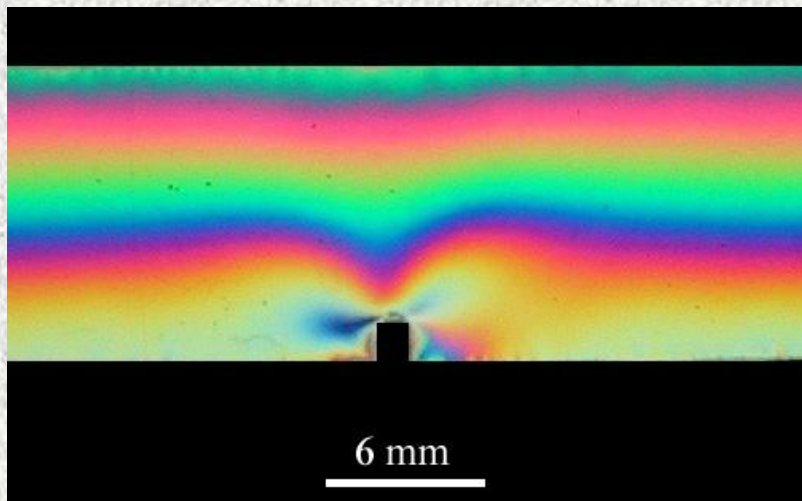
Dwójłomność wymuszona



Dwójłomność wymuszona



Dwójłomność wymuszona



Dwójłomność wymuszona

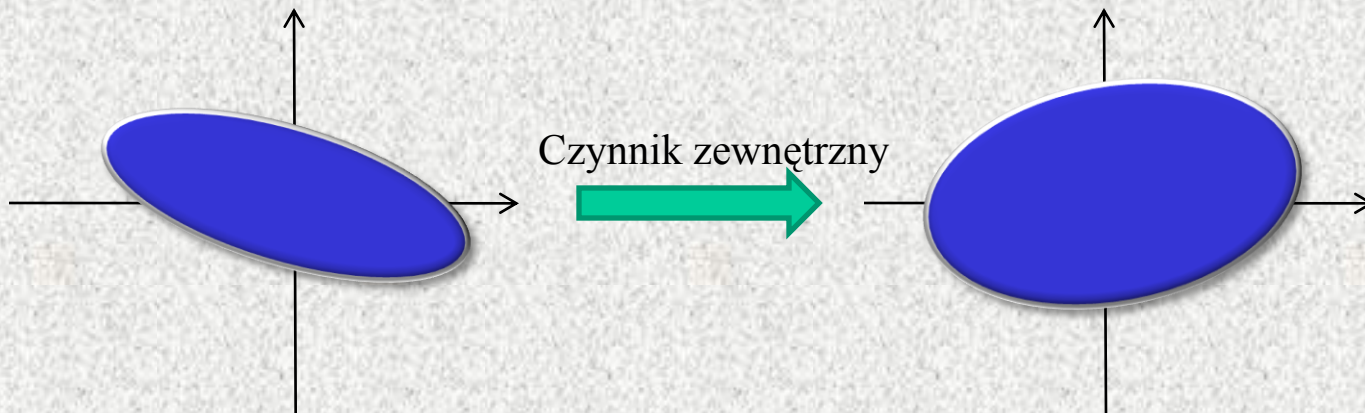
Elipsoida współczynników załamania

$$B_{xx}x^2 + B_{yy}y^2 + B_{zz}z^2 + 2B_{xy}xy + 2B_{xz}xz + 2B_{yz}yz = 1$$

gdzie $B_{kl} = \frac{1}{n_{kl}^2}$

Czynnik zewnętrzny (pole elektryczne, magnetyczne, ciepło, naprężenia) powoduje zmianę kształtu i orientacji przestrzennej elipsoidy, ale dalej będzie to elipsoida

$$(B_{xx} + \Delta B_{xx})x^2 + (B_{yy} + \Delta B_{yy})y^2 + (B_{zz} + \Delta B_{zz})z^2 + \\ + 2(B_{xy} + \Delta B_{xy})xy + 2(B_{xz} + \Delta B_{xz})xz + 2(B_{yz} + \Delta B_{yz})yz = 1$$

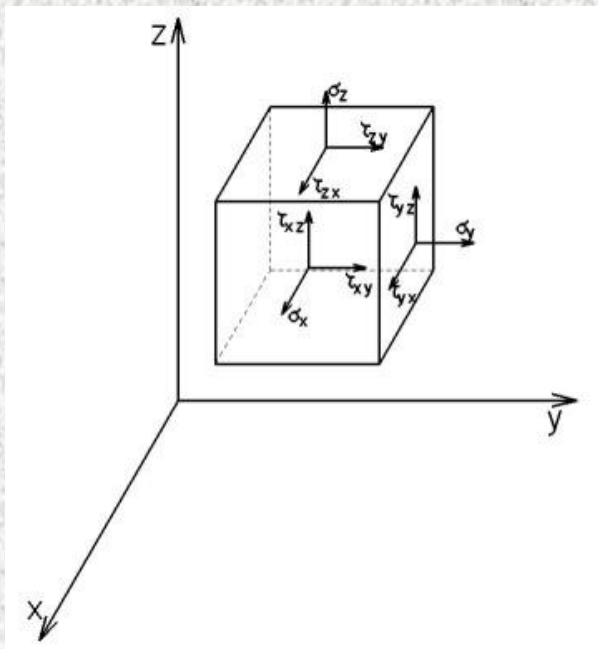


Fotosprężystość

efekt piezooptyczny - zmiana dwójłomności wywołana naprężeniami

$$\Delta B_i = \Pi_{ij} \sigma_j, \quad i, j = 1, 2, \dots, 6$$

($B_{kl} \equiv B_i, i = 1, 2, \dots, 6$ oraz $1 \rightarrow xx, 2 \rightarrow yy, 3 \rightarrow zz, 4 \rightarrow yz, 5 \rightarrow xz, 6 \rightarrow xy$)



naprężenia główne i ścinające

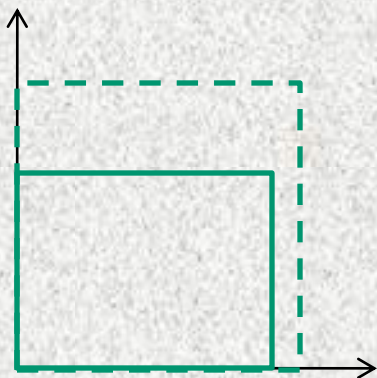
$$\sigma_{kl} = \frac{F_k}{S_l}$$

Fotosprężystość

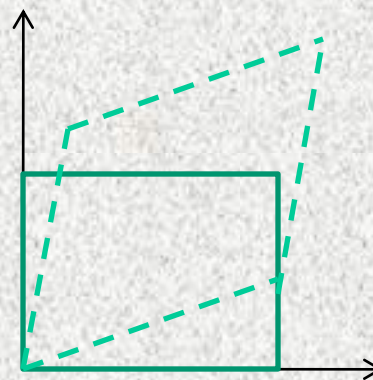
efekt elastooptyczny - zmiana dwójłomności wywołana odkształceniami

$$\Delta B_i = P_{ij} \gamma_j, \quad i, j = 1, 2, \dots, 6 \qquad \gamma_{rs} = \frac{\Delta r}{s}$$

prawo Hooke'a $\gamma_i = s_{ij} \sigma_j, \quad i, j = 1, 2, \dots, 6$



$\gamma_{xx}, \gamma_{yy}, \gamma_{zz}$



$\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{xz}$

Przykład wyliczenia dwójłomności naprężonego kryształu

- kryształ układu regularnego lub ciało izotropowe
- naprężenia główne, brak ścinających

$$\begin{bmatrix} \Delta B_1 \\ \Delta B_2 \\ \Delta B_3 \\ \Delta B_4 \\ \Delta B_5 \\ \Delta B_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Pi_{11} & \Pi_{12} & \Pi_{12} & 0 & 0 & 0 \\ \Pi_{12} & \Pi_{11} & \Pi_{12} & 0 & 0 & 0 \\ \Pi_{12} & \Pi_{12} & \Pi_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \Pi_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \Pi_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \Pi_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \longrightarrow \begin{bmatrix} \Delta B_1 \\ \Delta B_2 \\ \Delta B_3 \\ \Delta B_4 \\ \Delta B_5 \\ \Delta B_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Pi_{11}\sigma_1 + \Pi_{12}(\sigma_2 + \sigma_3) \\ \Pi_{11}\sigma_2 + \Pi_{12}(\sigma_1 + \sigma_3) \\ \Pi_{11}\sigma_3 + \Pi_{12}(\sigma_1 + \sigma_2) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$(B + \Delta B_1)x^2 + (B + \Delta B_2)y^2 + (B + \Delta B_3)z^2 = 1$$

$$s_z = 1 \longrightarrow (B + \Delta B_1)x^2 + (B + \Delta B_2)y^2 = 1$$

$$\Delta n = n^3(\Pi_{11} - \Pi_{12})(\sigma_1 - \sigma_2)/2 = c_p(\sigma_1 - \sigma_2)$$

$$\Delta n = n^3(p_{11} - p_{12})(\gamma_1 - \gamma_2)/2 = c_e(\gamma_1 - \gamma_2)$$

Efekty elektrooptyczne

$$n' = n'_0 + a'E + b'E^2 + c'E^3 + \dots$$

$$n'' = n''_0 + a''E + b''E^2 + c''E^3 + \dots$$

kryształy bez środka symetrii – efekt Pockelsa

$$n' = n'_0 + a'E$$

$$n'' = n''_0 + a''E$$

kryształ ze środkiem symetrii lub ciało izotropowe – efekt Kerra

$$n' = n'_0 + b'E^2$$

$$n'' = n''_0 + b''E^2$$

Efekt Pockelsa

$$\Delta B_i = r_{ij} E_j, \quad i, j = 1, 2, \dots, 6$$

przykład:

kryształ ADP – jednoosiowy

pole elektryczne $\vec{E} = E_z \hat{z}$

fala świetlna biegnie również wzdłuż osi Z

(podłużny efekt elektrooptyczny)

$$\begin{bmatrix} \Delta B_1 \\ \Delta B_2 \\ \Delta B_3 \\ \Delta B_4 \\ \Delta B_5 \\ \Delta B_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ r_{41} & 0 & 0 \\ 0 & r_{41} & 0 \\ 0 & 0 & r_{63} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ E_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ r_{63} E_z \end{bmatrix}$$

$$\frac{x^2 + y^2}{n_o^2} + \frac{z^2}{n_e^2} + 2r_{63} E_z xy = 1$$

$$\frac{x^2 + y^2}{n_o^2} + 2r_{63} E_z xy = 1$$

$$x^2 \left(\frac{1}{n_o^2} + r_{63} E_z \right) + y^2 \left(\frac{1}{n_o^2} - r_{63} E_z \right) = 1$$

$$\Delta n = r_{63} n_o^3 E_z$$

Efekt Kerra

$$\Delta B_i = R_{ijk} E_j E_k, \quad i, j, k = x, y, z$$

przykład:

kryształ układu regularnego (ośrodek niedwójłomny),
pole elektryczne $\vec{E} = E_z \hat{z}$

$$\Delta B = \begin{bmatrix} R_{12} E_z^2 \\ R_{12} E_z^2 \\ R_{11} E_z^2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$x^2 \left(\frac{1}{n_0^2} + R_{12} E_z^2 \right) + y^2 \left(\frac{1}{n_0^2} + R_{12} E_z^2 \right) + z^2 \left(\frac{1}{n_0^2} + R_{11} E_z^2 \right) = 1$$

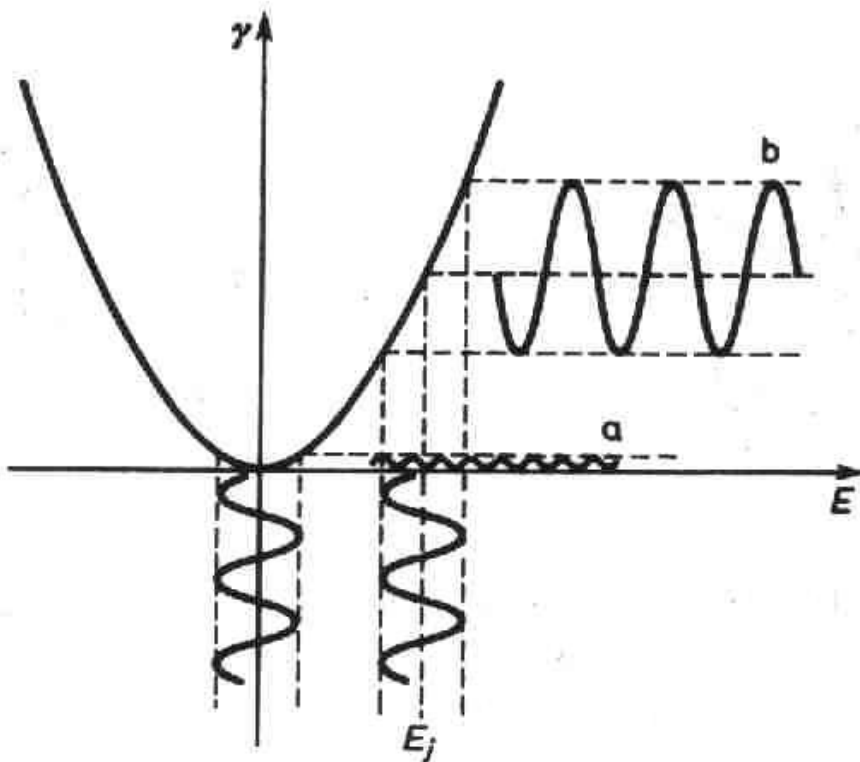
powstał ośrodek jednoosiowy z osią binormalną pokrywającą się z osią Z;

dwójłomność w przypadku gdy $\hat{s} \perp \hat{z}$

$$\Delta n = 0.5(R_{12} - R_{11})n_0^3 E_z^2$$

Efekt Kerra

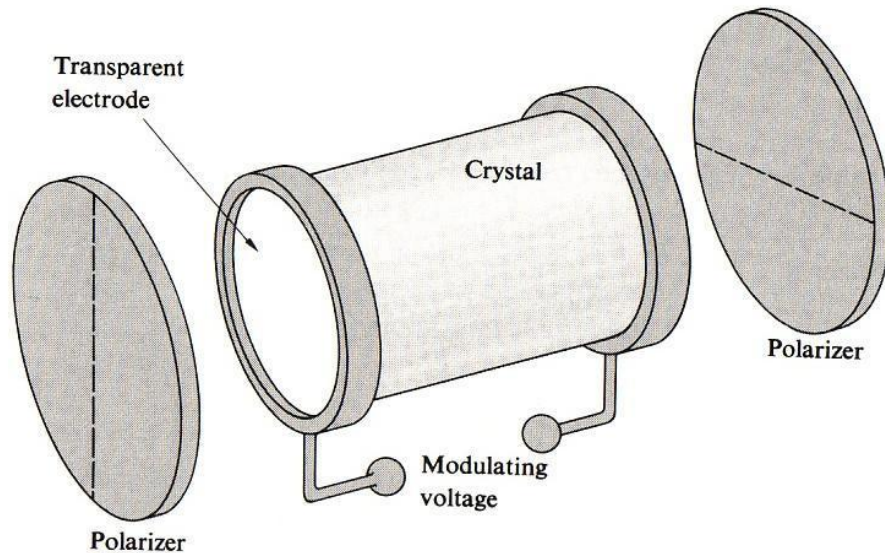
Wstępna polaryzacja stałym (w czasie) polem elektrycznym skierowanym tak samo jak pole modulujące



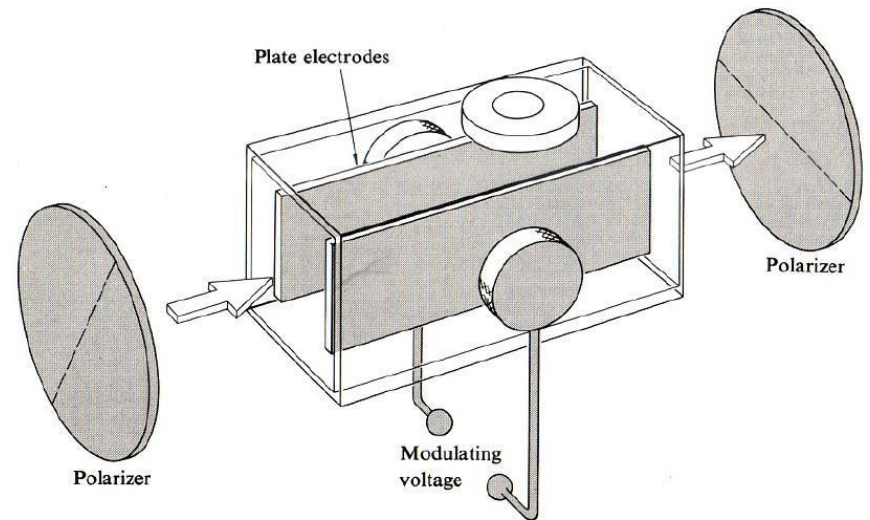
różnice:

czysta modulacja (pkt.a) daje podwojenie częstotliwości modulacji dwójłomności, modulacja ze składową stałą (pkt.b) daje silniejszą modulację dwójłomności bez podwajania częstotliwości modulacji

Komórki elektrooptyczne



komórka Pockelsa



komórka Kerra

Efekty magnetoptyczne

(rozważania dla ośrodka izotropowego)

Zewnętrzne pole magnetyczne $\vec{H} = H\hat{z}$

$$\bar{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 & -i\varepsilon_6 & 0 \\ i\varepsilon_6 & \varepsilon_1 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_3 \end{bmatrix} \quad \begin{aligned} \varepsilon_1 &= n_0^2 + k_1 H^2 \\ \varepsilon_3 &= n_0^2 + k_3 H^2 \\ \varepsilon_6 &= k_6 H \end{aligned}$$

Założenie: fala biegnie pod kątem θ względem osi Z

Rozwiązanie ogólne

$$\frac{1}{n^2} = 0.5 \left[\frac{\varepsilon_1 (2 - \sin^2 \theta)}{\varepsilon_1^2 - \varepsilon_6^2} + \frac{\sin^2 \theta}{\varepsilon_3} \right] \pm \sqrt{\frac{\sin^4 \theta}{4} \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_1^2 - \varepsilon_6^2} - \frac{1}{\varepsilon_3} \right)^2 + \frac{\varepsilon_6^2 \cos^2 \theta}{(\varepsilon_1^2 - \varepsilon_6^2)^2}}$$

Efekt Cottona-Mouttona

$$\theta = 90^\circ$$

$$(n_{CM}')^2 = \frac{\varepsilon_1^2 - \varepsilon_6^2}{\varepsilon_1}$$

$$(n_{CM}'')^2 = \varepsilon_3$$

$$\Delta n_{CM} = \frac{(k_1 - k_3)}{2n_0} H^2 \left[1 - \frac{k_6}{(k_1 - k_3)(n_0^2 + k_1 H^2)} \right] \cong \frac{(k_1 - k_3)}{2n_0} H^2 = CH^2$$

fale własne – liniowo spolaryzowane

Efekt Faradaya

$$\theta = 0^\circ$$

$$(n_F')^2 = \varepsilon_1 + \varepsilon_6$$

$$(n_F'')^2 = \varepsilon_1 - \varepsilon_6$$

$$\Delta n_F = \frac{k_6}{n_0} H = V' H$$

fale własne – kołowo spolaryzowane

$$\Gamma = VdH$$

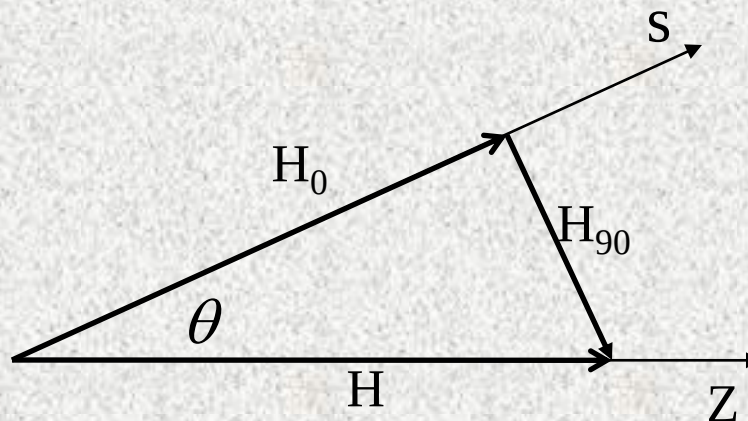
Zasada superpozycji różnicy faz

Rozwiązanie ogólne jako kombinacja rozwiązań szczególnych

$$\Delta n = \sqrt{\sin^4 \theta (\Delta n_{CM})^2 + \cos^2 \theta (\Delta n_F)^2}$$

$$H_0 = |\vec{H}| \cos \theta$$

$$H_{90} = |\vec{H}| \sin \theta$$



$$(\Delta n)^2 = (CH_{90}^2)^2 + (V' H_0)^2$$