Tema 17 - 19. Optică ondulatorie

Interferența de luminii

Fenomenul de suprapunere a undelor coerente de lumină, având ca rezultat formarea franjelor luminoase și întunecate alternante, se numește **interferența de luminii**.

Undele de lumină pot fi **coerente** numai dacă provin din aceiași atomi, care aparțin unei singure surse.

$$E_1 = E_{01}\sin(\omega t - k_1 r_1) = E_{01}\sin\Phi_1,$$
$$E_2 = E_{02}\sin(\omega t - k_2 r_2) = E_{02}\sin\Phi_2.$$

$$\Longrightarrow \quad E^2 = E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02}\cos(\Phi_2 - \Phi_1)$$

$$\Phi_2 - \Phi_1 = k_1 r_1 - k_2 r_2 = \omega\left(\frac{r_1}{\upsilon_1} - \frac{r_2}{\upsilon_2}\right) = \frac{2\pi\nu}{c}(r_1 n_1 - r_2 n_2) = \frac{2\pi}{\lambda_0}\Delta$$

$\lambda_0 = \dfrac{c}{\nu}$ – lungimea de undă a luminii în vid

$\Delta = r_1 n_1 - r_2 n_2$ – diferența de drum optic

$$\Delta = \pm 2m\frac{\lambda_0}{2}, \quad \text{max}$$
$$\Delta = \pm(2m+1)\frac{\lambda_0}{2}, \quad \text{min}$$

Tema 17 - 19. Optică ondulatorie

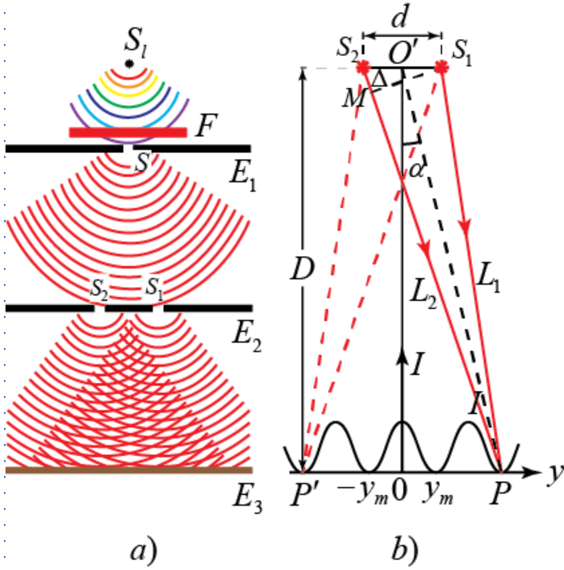
Schema instalației lui Young

$$\Delta = L_2 - L_1 = S_2M$$

$\Delta S_1MS_2 \rightarrow \sin\alpha = \dfrac{\Delta}{d}$

$\Delta O'OP \rightarrow \mathrm{tg}\,\alpha = \dfrac{y_m}{D}$

$\rightarrow \dfrac{\Delta}{d} = \dfrac{y_m}{D}$



$$\Delta = \frac{y_m d}{D} \rightarrow y_m = \frac{D}{d}\Delta$$

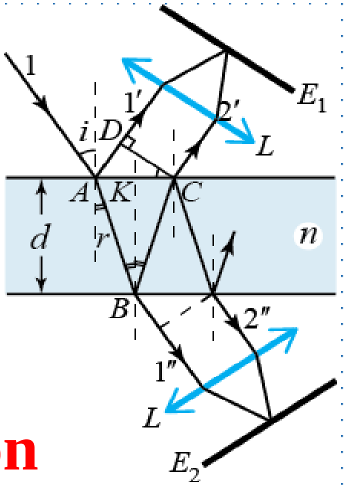
$$y_m^{\max} = \pm\frac{mD\lambda_0}{d} \qquad y_m^{\min} = \pm(2m+1)\frac{D\lambda_0}{2d}$$

Mărimea egală cu distanța dintre două franje luminoase sau întunecate consecutive se numește **interfranjă.**

$$\Delta y = y_{m+1}^{\max} - y_m^{\max} = y_{m+1}^{\min} - y_m^{\min} = \frac{D\lambda}{d}$$

Tema 17 - 19. Optică ondulatorie

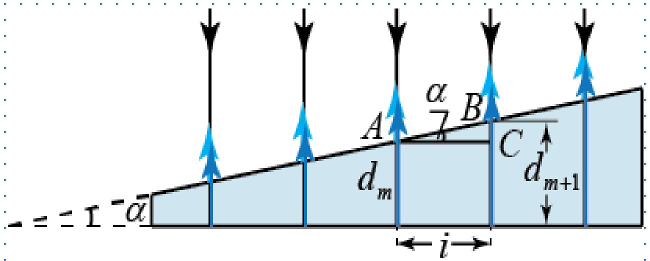
Interferența luminii într-o peliculă transparentă subțire cu suprafețe plan-paralele



$$\Delta = (AB + BC)n - \left(AD - \frac{\lambda}{2}\right)$$

$$\Delta = 2nd\cos r + \frac{\lambda}{2} \quad \text{sau} \quad \Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}$$

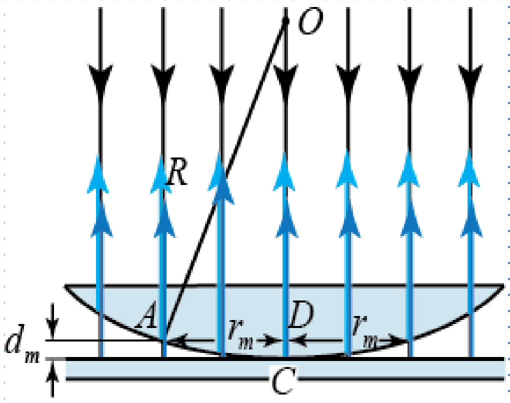
Pană optică



$$\Delta = 2nd_m + \frac{\lambda}{2}$$

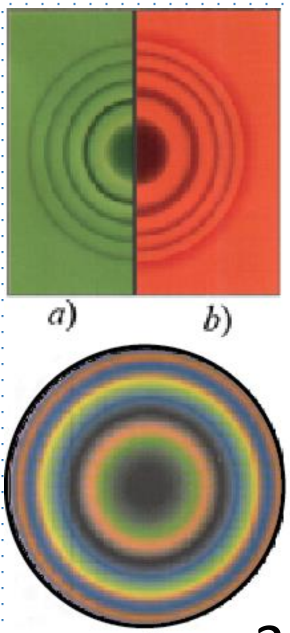
$$i = \frac{\lambda}{2n\alpha}$$

Inelele lui Newton



$$r_m^{\max} = \sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right)R\lambda}$$

$$r_m^{\min} = \sqrt{mR\lambda}$$



a) b)

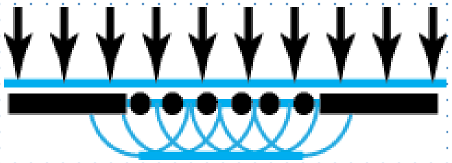
c)

Tema 17 - 19. Optică ondulatorie

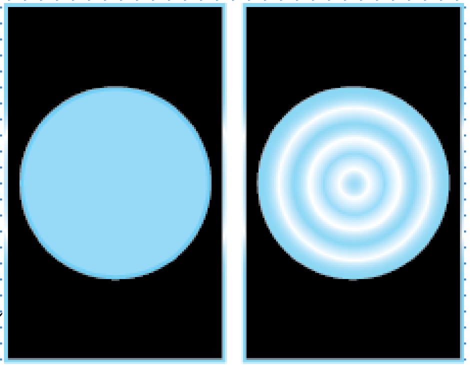
Difracția luminii

Fenomenul de ocolire a obstacolelor întâlnite în calea propagării undelor luminoase sau orice deviere de la legile opticii geometrice la propagarea lor în apropierea obstacolelor se numește **difracție.**

Principiul Huygens



Conform principiului Huygens, orice punct al mediului până la care a ajuns unda la momentul dat devine o sursă de unde sferice secundare, iar înfășurătoarea lor la un moment ulterior reprezintă noul front de undă.



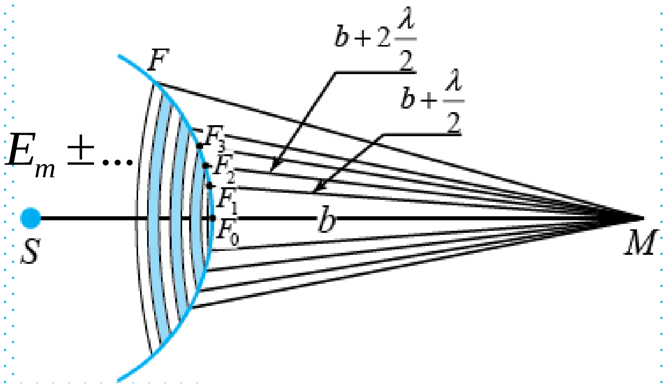
a) *b)*

Principiul Huygens-Fresnel

Orice punct al mediului până la care ajunge unda luminoasă la momentul dat devine sursă de unde sferice secundare coerente, care apoi interferează, iar rezultatul interferenței reprezintă un nou front de undă.

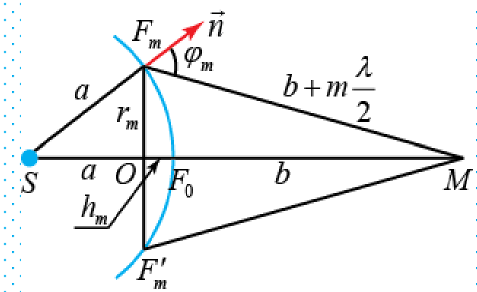
Tema 17 - 19. Optică ondulatorie

Metoda zonelor Fresnel



$$F_1M - F_0M = F_2M - F_1M = \ldots = \frac{\lambda}{2} \Longrightarrow E = E_1 - E_2 + E_3 - E_4 + \ldots \pm E_m \pm \ldots$$

unde $E_1, E_2, \ldots E_m$ sunt amplitudinile oscilațiilor punctului M provocate de undele sosite de la zonele 1, 2, ..., m



Aria suprafeței zonei m: $\sigma_m = S_m - S_{m-1} = 2\pi a\left(h_m - h_{m-1}\right)$

$$r_m^2 = a^2 - (a-h_m)^2 = \left(b + m\frac{\lambda}{2}\right)^2 - (b+h_m)^2 \Longrightarrow$$

$$\Longrightarrow h_m = \frac{mb\lambda}{2(a+b)} \Longrightarrow r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b}m\lambda} \Longrightarrow \sigma_m = \frac{\pi ab\lambda}{a+b}$$

$$E_1 > E_2 > E_3 > \ldots > E_m > \ldots \Longrightarrow E_m = \frac{E_{m-1} + E_{m+1}}{2}$$

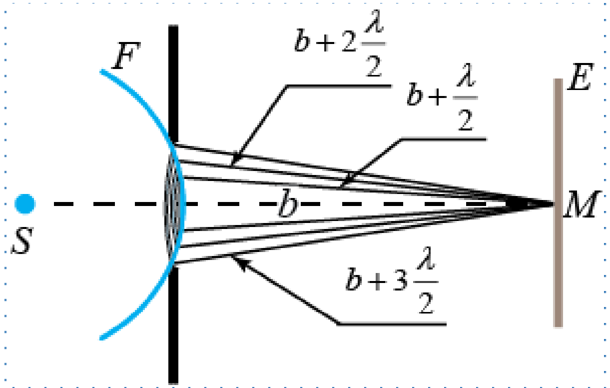
$$E = \frac{E_1}{2} + \left(\frac{E_1}{2} - E_2 + \frac{E_3}{2}\right) + \left(\frac{E_3}{2} - E_4 + \frac{E_5}{2}\right) + \ldots \pm \frac{E_m}{2} = \frac{E_1}{2} \pm \frac{E_m}{2} \Longrightarrow E = \frac{E_1}{2}$$

Tema 17 - 19. Optică ondulatorie

Difracția pe un orificiu circular mic

max: $$E = \frac{1}{2}(E_1 + E_m), \quad m - \text{impar},$$

min: $$E = \frac{1}{2}(E_1 - E_m), \quad m - \text{par}.$$

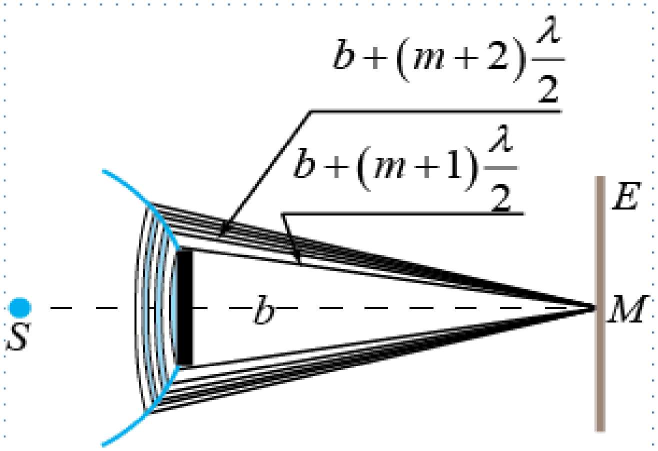


Difracția Fresnel pe un disc mic

$$E = E_{m+1} - E_{m+2} + E_{m+3} - E_{m+4} + E_{m+5} - \ldots =$$

$$= \frac{E_{m+1}}{2} + \left(\frac{E_{m+1}}{2} - E_{m+2} + \frac{E_{m+3}}{2}\right) + \left(\frac{E_{m+3}}{2} - E_{m+4} + \frac{E_{m+5}}{2}\right) + \ldots$$

$$E = \frac{E_{m+1}}{2}$$



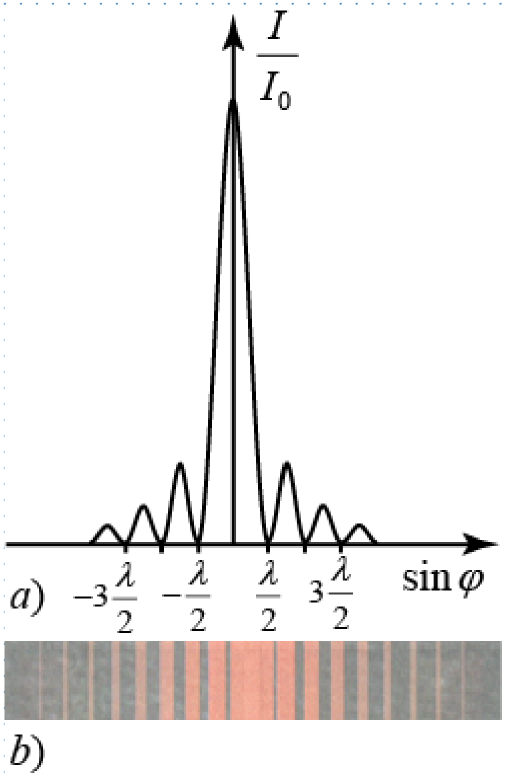
Pata lui Poisson

Tema 17 - 19. Optică ondulatorie

Difracția Fraunhofer de la o fantă îngustă

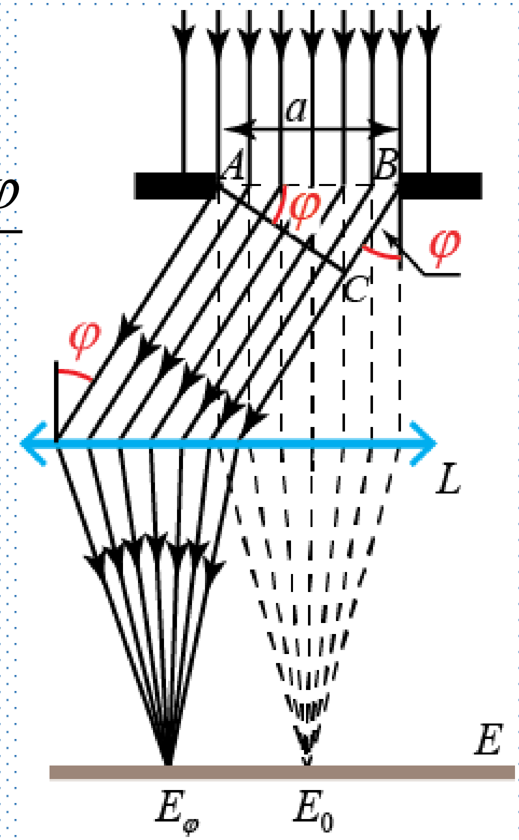
$$\Delta = BC = a\sin\varphi$$

$$\text{Numărul de zone Fresnel} = \frac{a\sin\varphi}{\lambda/2}$$



max: $$a\sin\varphi = \pm(2m+1)\frac{\lambda}{2}$$

min: $$a\sin\varphi = \pm 2m\frac{\lambda}{2}$$



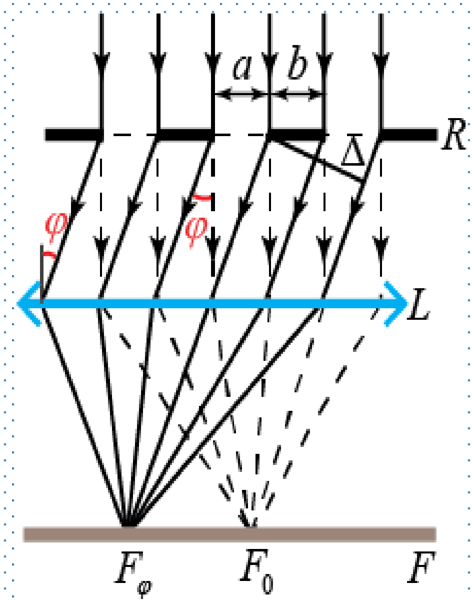
$$I_0 : I_1 : I_2 : I_3 : \ldots = 1 : 0{,}047 : 0{,}017 : 0{,}0083$$

Tema 17 - 19. Optică ondulatorie

Rețeaua de difracție

$d = a + b$ – **constanta** sau **perioada rețelei**

$$d = \frac{l}{N} = \frac{1}{n}$$

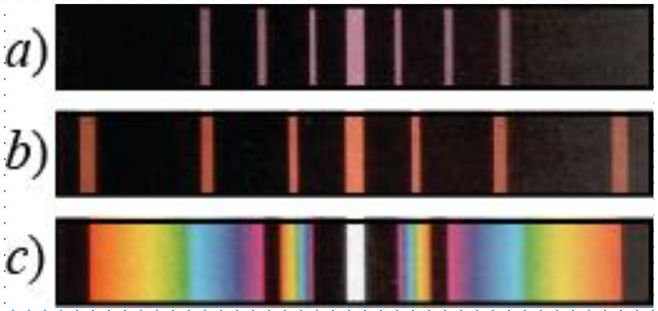


Condiția maximelor principale

$$d \sin\varphi = \pm n\lambda \qquad n = 0,\ 1,\ 2, \ldots$$

Condiția minimelor principale

$$a \sin\varphi = \pm m\lambda \qquad m = 1,\ 2, \ldots$$



Condiția maximelor secundare

$$d \sin\varphi = \pm \frac{p\lambda}{N} \qquad p = 0,\ N,\ 2N,\ 3N, \ldots$$

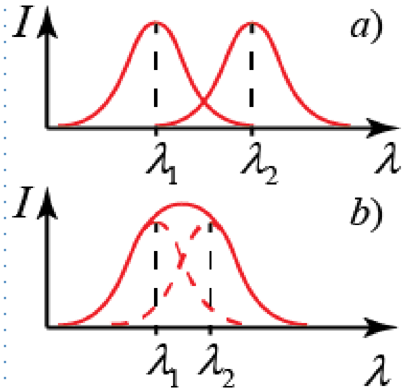
Tema 17 - 19. Optică ondulatorie

Puterea de rezoluție a aparatelor spectrale

Puterea de rezoluție caracterizează capacitatea unui aparat spectral de a separa două linii spectrale cu lungimi de undă apropiate.

Criteriul lui Rayleigh

$$\boxed{R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}}$$



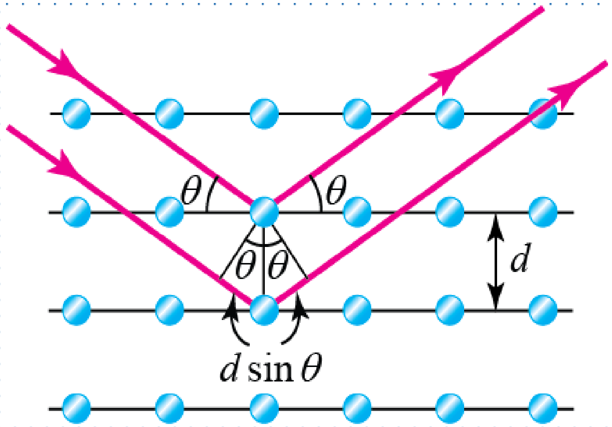
Calculăm puterea de rezoluție a rețelei de difracție

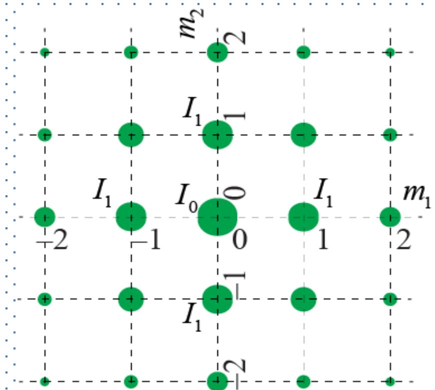
$$\left.\begin{aligned} d\sin\varphi_1 = n\lambda_1; \quad d\sin\varphi_2 = n\lambda_2 \\ d\sin\varphi = n\lambda_1 + \frac{\lambda_1}{N} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad n\lambda_2 = n\lambda_1 + \frac{\lambda_1}{N}$$

$$R = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} = nN$$

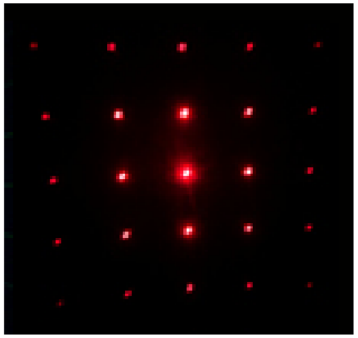
Tema 17 - 19. Optică ondulatorie

Rețeaua spațială de difracție





Rețea bidimensională



b)

Legea sau condiția lui Bragg

$$2d\sin\theta = m\lambda,\quad m = 1,\ 2,\ 3,\ldots$$

d – distanța dintre planele cristalografice

θ – unghiul de alunecare sau unghiul Bragg (unghiul dintre raza incidentă și planul cristalografic)

Analiza radiocristalografică

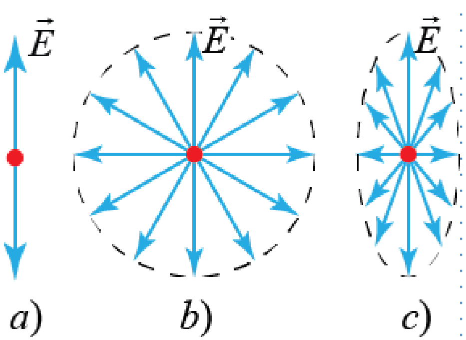
Tema 17 - 19. Optică ondulatorie

Polarizarea liniară și circulară.

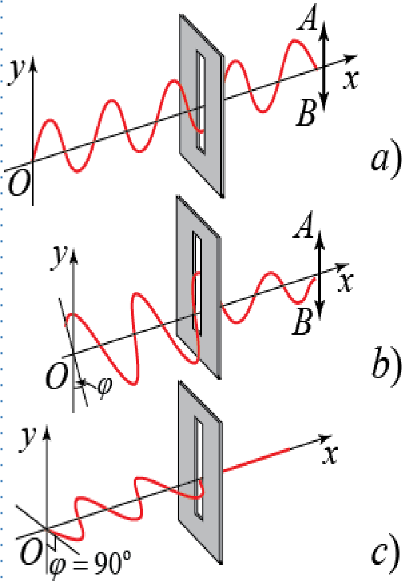
Dacă direcția de oscilație a particulelor mediului variază în timp după o anumită lege, atunci unda se numește **polarizată**

Planul format de direcția de oscilație și cea de propagare a undei se numește **plan de polarizare**.

Starea de polarizare este proprie doar undelor transversale



1) Lumină plan (liniar) polarizată
2) Lumină nepolarizată (naturală)
3) lumină parțial polarizată.



Grad de polarizare

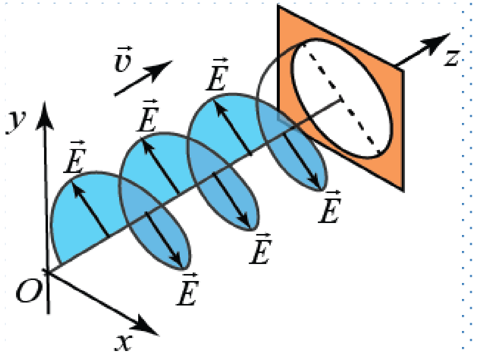
$$\boxed{P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}}$$

$0 \le P \le 1$

$\vec{E}$ – **vector luminos**

Tema 17 - 19. Optică ondulatorie

1) lumină polarizată eliptic,
2) lumină polarizată circular.



Polarizarea prin absorbție selectivă

Polarizoare naturale - cristale anizotrope (turmalina, spatul de Islanda, cuarțul etc.)

Polarizoarele artificiale - polaroizi (Land, a.1928). Aceste pelicule sunt materiale care conțin lanțuri de molecule de hidrocarburi aliniate într-o anumită direcție.

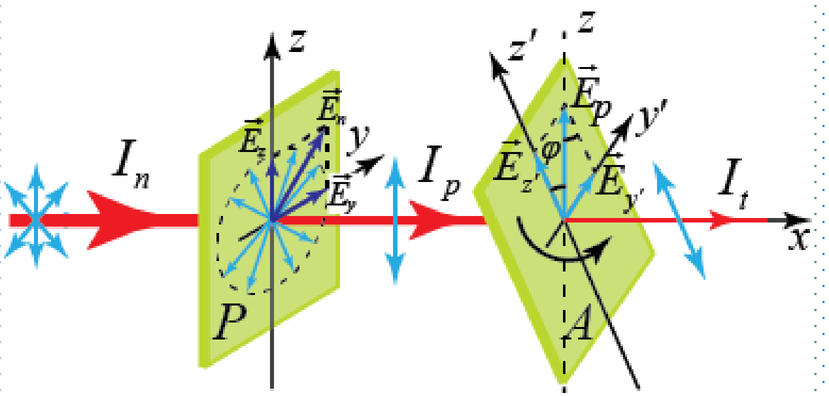
Dispozitivele care transformă lumina naturală în lumină polarizată se numesc **polarizoare.**

Pentru stabilirea stării de polarizare a luminii, se folosește un polarizor, numit în acest caz **analizor**.

Tema 17 - 19. Optică ondulatorie

Legea lui Malus

$$\left.\begin{array}{c} E_n^2 = E_y^2 + E_z^2 = 2E_z^2 \\ E^2 \sim I \end{array}\right\} \Longrightarrow I_p = \frac{1}{2} I_n$$



$$\vec{E}_{z'} \equiv \vec{E}_t = \vec{E}_p \cos\varphi$$

$$\boxed{I_t = I_p \cos^2\varphi}$$

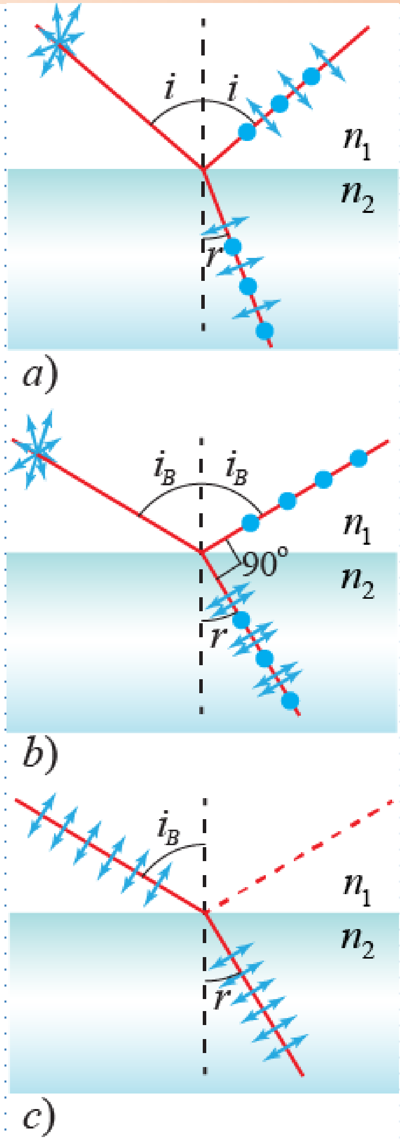
Dacă în aceste dispozitive există pierderi (prin absorbție parțială a luminii) atunci intensitatea luminii naturale transmisă prin două polarizoare:

$$I_t = \frac{1}{2} I_n (1-k_1)(1-k_2)\cos^2\varphi$$

unde k_1 și k_2 - coeficienții de absorbție a luminii în cele două polarizoare.

Tema 17 - 19. Optică ondulatorie

Polarizarea luminii poate avea loc și prin reflexia și refracția la suprafața de separație a două medii dielectrice.



Legea lui Brewster

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow \frac{\sin i_B}{\sin\left(90^o - i_B\right)} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow$$

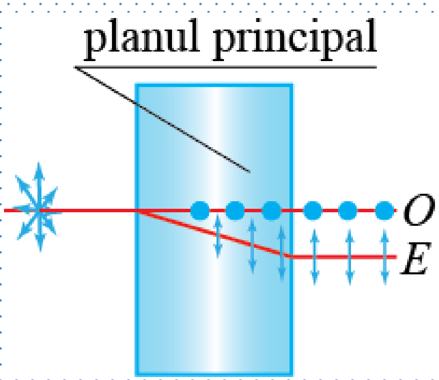
$$\rightarrow \boxed{\operatorname{tg} i_B = n_{21}}$$

unde i_B – **unghiul de polarizare sau unghiul Brewster**,

$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$ – indice relativ de refracție a mediului 2 în raport cu mediul 1

Tema 17 - 19. Optică ondulatorie

Toate cristalele transparente anizotrope sunt **birefringente** (refracție dublă).



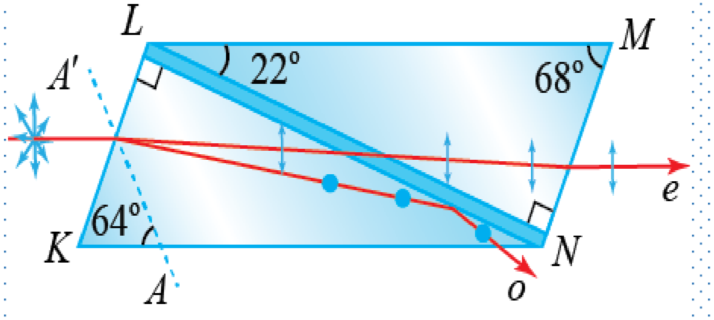
Raza incidentă este bifurcată în două raze - **ordinară(o)** și **extraordinară (e).**

Direcția, de-a lungul căreia în materialele anizotrope razele ***o*** și ***e*** se propagă cu aceeași viteză și birefringența nu se observă, se numește **axa optică a cristalului.**

Planul în care se află raza incidentă și axa optică a cristalului se numește **plan principal** sau **secțiune principală a cristalului.**

Dispozitive de polarizare

prisma Nicol



Tema 17 - 19. Optică ondulatorie

Anizotropia optică artificială

Anizotropia optică este cu atât mai pronunțată cu cât diferența dintre indicii de refracție ai razelor ordinară și extraordinară pe direcția perpendiculară pe axa optică este mai mare:

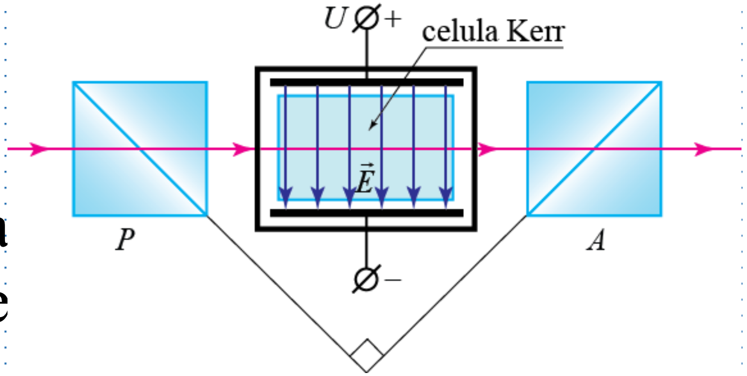
$n_o - n_e = k_1\sigma$ – în cazul acțiunii de deformare

$n_o - n_e = k_2\lambda_0 E^2$ – în cazul câmpului electric

$n_o - n_e = k_3\lambda_0 H^2$ – în cazul câmpului magnetic

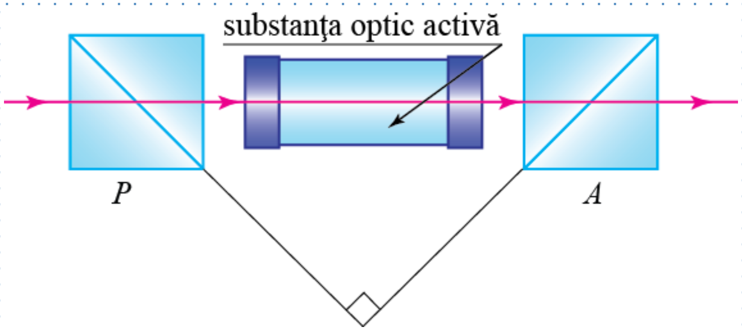
Efectul Kerr

Anizotropia optică în dielectrici izotropi lichizi sau solizi sub acțiunea câmpului electric se explică prin polarizarea diferită a moleculelor dielectricului în direcții diferite



Tema 17 - 19. Optică ondulatorie

Proprietatea substanțelor de a roti planul de polarizare se numește **activitate optică.**



Unghiul de rotație al planului de polarizare

pentru cristalele și lichidele pure optic active $\varphi = \alpha d$

pentru soluțiile optic active $\varphi = \alpha_0 C d$

unde α (α_0) este rotația specifică (constanta de rotație a soluției), iar C este concentrația soluției. d este distanța parcursă de lumină într-o substanță optic activă.

Efectul Faraday

Rotația magnetică a planului de polarizare. Unghiul de rotație al planului de polarizare

$$\varphi = VHd$$