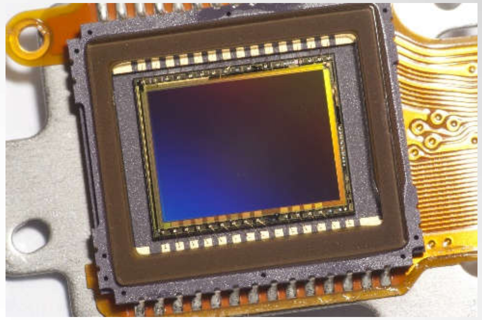
ОПТИКА

Явище інтерференції світла. Загальні умови мінімумів та максимумів інтерференції.

Роберт Бойль

Роберт Гук

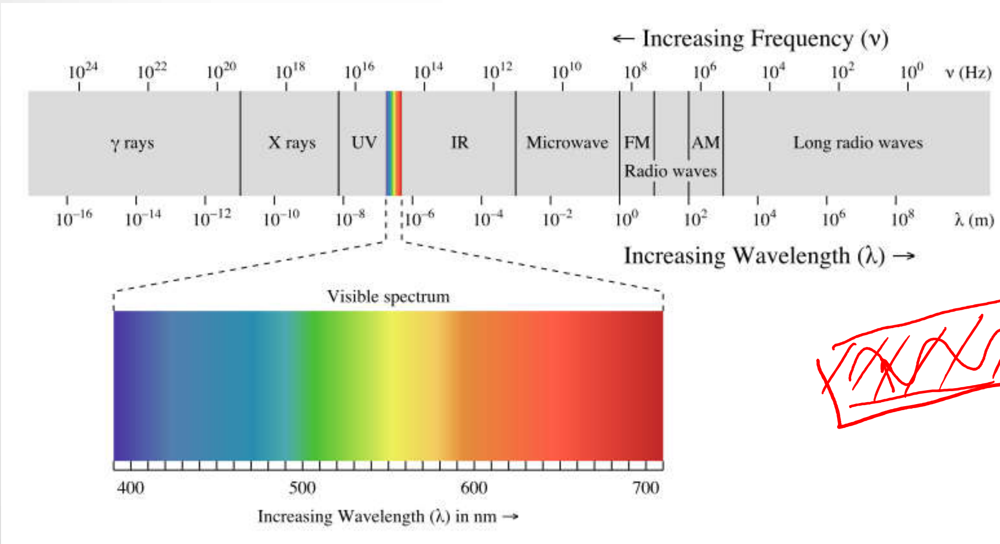
час розділення



0,1 сек

10^{-2}-10^{-4} сек

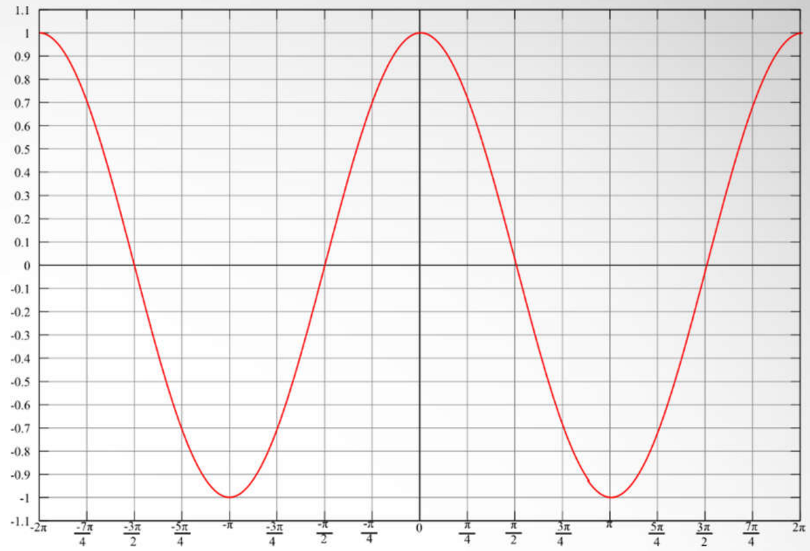
10^{-10} сек



$T=10^{-15}$ сек

$$E_y = E_0 \cos(\omega t - kx + \phi_0)$$

$$H_z = H_0 \cos(\omega t - kx + \phi_0)$$



$$< \cos(\omega t + \varphi) > = 0$$

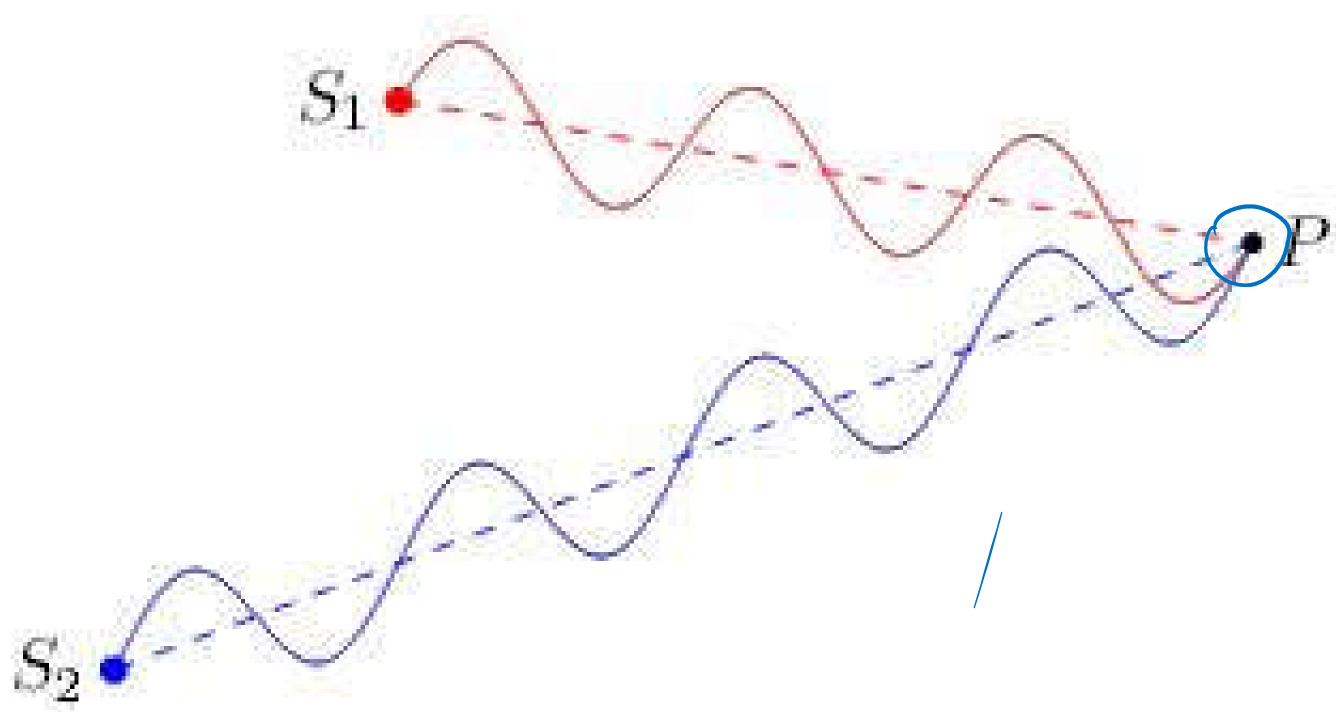
$\vec{E}$ - світловий вектор

$$\boxed{\cos^2 \alpha = \frac{1 + \cos(2\alpha)}{2}}$$

$$< \cos^2(\omega t + \varphi) > = \frac{1}{2}$$

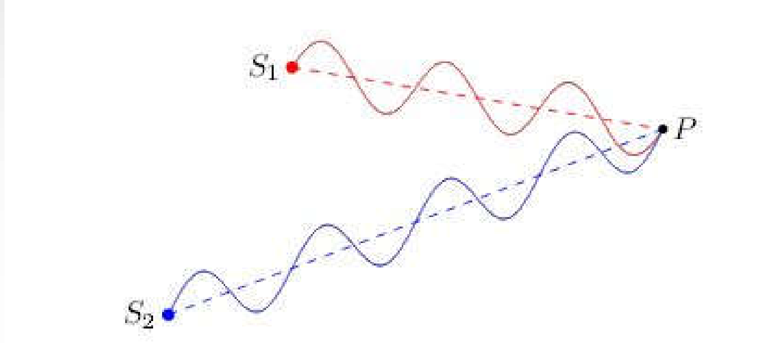
$$I = < E^2 >$$ ***інтенсивність світла***

$$I = 0,5\, E_0^{\ 2}$$



$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$



$$E^2 = \vec{E} \cdot \vec{E} = \vec{E}_1^2 + \vec{E}_2^2 + 2\vec{E}_1\vec{E}_2$$

$$< E^2 > = < E_1^2 > + < E_2^2 > + 2 < \vec{E}_1\vec{E}_2 >$$

$$I = I_1 + I_2 + I_{12}$$ інтерференційний доданок

$$I_{12} = 0 \qquad I = I_1 + I_2$$ *закон фотометричного додавання*

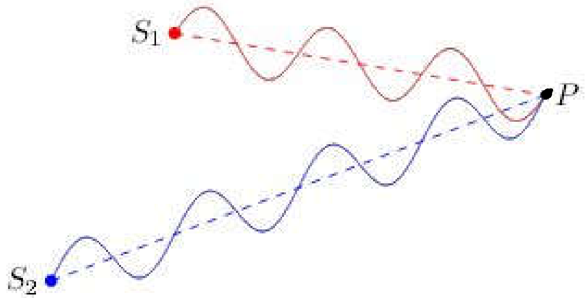
$$I_{12} \neq 0 \qquad I \neq I_1 + I_2$$ *інтерференція*

$I > I_1 + I_2$ $\qquad$ $I < I_1 + I_2$

$$E_1(t) = E_{01}\cos(\omega_1 t + \varphi_1)$$

$$I_1 = \langle E_1(t)\rangle = \frac{1}{2}E_{01}^2$$

$$E_{01} = \sqrt{2I_1}$$



$$E_2(t) = E_{02}\cos(\omega_2 t + \varphi_2)$$

$$I_2 = \langle E_2(t)\rangle = \frac{1}{2}E_{02}^2$$

$$E_{02} = \sqrt{2I_2}$$

$$\vec{E}_1 \parallel \vec{E}_2 \qquad E^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 = E_{01}^2\cos^2(\omega_1 t + \varphi_1) +$$

$$+ E_{02}^2\cos^2(\omega_2 t + \varphi_2) + 2E_{01}\cos(\omega_1 t + \varphi_1)E_{02}\cos(\omega_2 t + \varphi_2)$$

$$\cos\alpha\cdot\cos\beta = 0.5\cdot[\cos(\alpha-\beta) + \cos(\alpha+\beta)]$$

$$I = \langle E_1^2\rangle + \langle E_2^2\rangle + 2\langle E_1E_2\rangle = 0.5E_{01}^2 + 0.5E_{02}^2 +$$

$$+ 2E_{01}E_{02}[\langle\cos((\omega_1-\omega_2)t + (\varphi_1-\varphi_2))\rangle + \overbrace{\langle\cos((\omega_1+\omega_2)t + (\varphi_1+\varphi_2))\rangle}^{=0}]$$

$$(\omega_1-\omega_2)t + (\varphi_1-\varphi_2) = const$$

$$\left.\begin{array}{l}\omega_1 = \omega_2 \\ (\varphi_1-\varphi_2) = const\end{array}\right\}$$ умови когерентності

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos(\varphi_1 - \varphi_2) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\Delta\varphi$$

максимум $\Delta\varphi = \underline{2\pi m}$ m - ціле

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} = \left(\sqrt{I_1} + \sqrt{I_2}\right)^2$$

$I_1 = I_2$ $I = 4I_1$

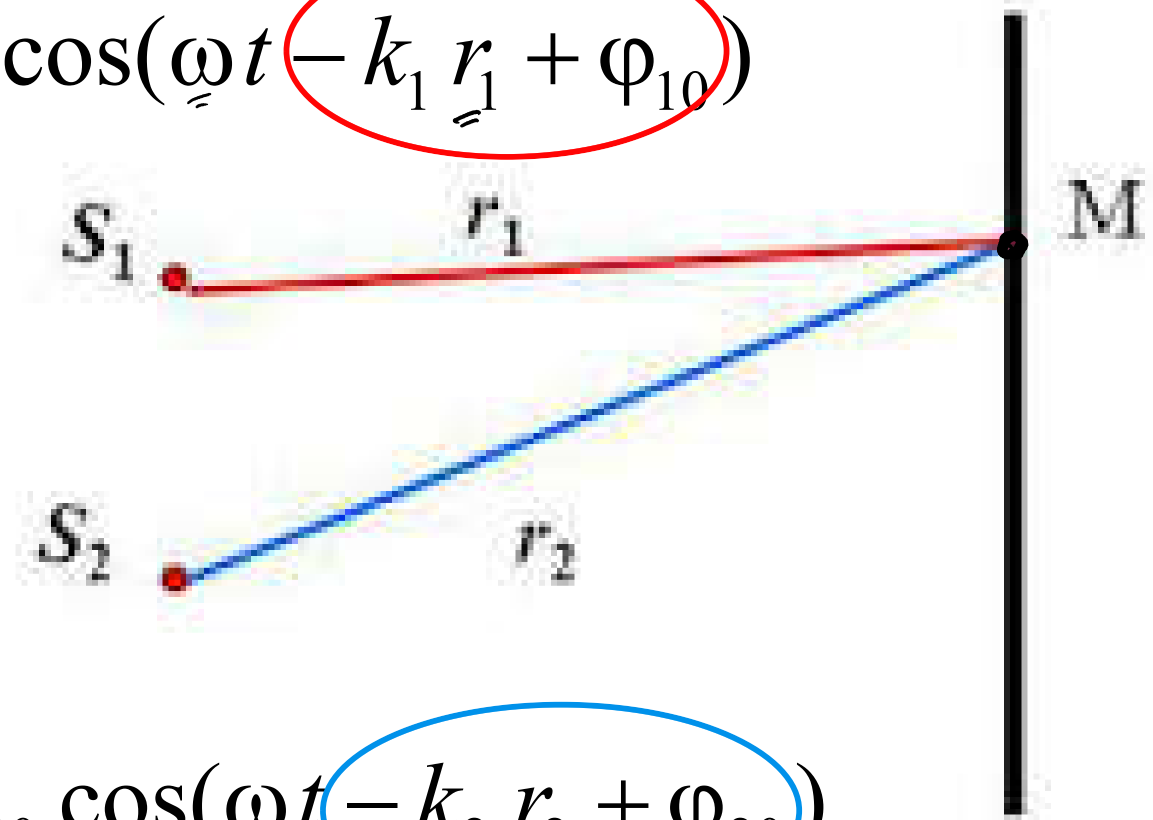
мінімум $\Delta\varphi = (2m+1)\pi$

$$I = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2} = \left(\sqrt{I_1} - \sqrt{I_2}\right)^2$$

$I_1 = I_2$ $I = 0$

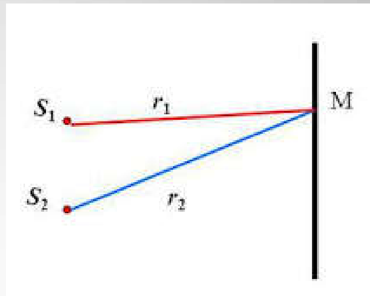
Оптична різниця ходу

$$E_1 = E_{10}\cos(\omega t \overbrace{- k_1 r_1 + \varphi_{10}}^{\varphi_1})$$



$$E_2 = E_{20}\cos(\omega t \underbrace{- k_2 r_2 + \varphi_{20}}_{\varphi_2})$$

$(r_2 - r_1)$ – геометрична різниця ходу



$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \underbrace{(\varphi_{10} - \varphi_{20})} + (k_2 r_2 - k_1 r_1)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi n}{\lambda_0} \quad \omega$$

$r \cdot n$ – оптичний шлях

$$(k_2 r_2 - k_1 r_1) = 2\pi\left(\frac{r_2}{\lambda_2} - \frac{r_1}{\lambda_1}\right) = \frac{2\pi}{\lambda_0}\underbrace{\overbrace{(r_2 n_2 - r_1 n_1)}^{\text{оптична різниця ходу}}}_{\Delta}$$

$$\boxed{\Delta\varphi = 2\pi\frac{\Delta}{\lambda_0}} + \underline{(\varphi_{10} - \varphi_{20})}$$

$\varphi_{10} = \varphi_{20}$

$\lambda_0 \to \lambda$

$$\Delta\varphi = 2\pi\frac{\Delta}{\lambda_0}$$

максимум

$$\Delta\varphi = 2\pi m$$

$$\Delta = \pm m\lambda_0 \quad (m = 0, 1, 2, \ldots)$$

$$= \pm 2m\frac{\lambda_0}{2}$$

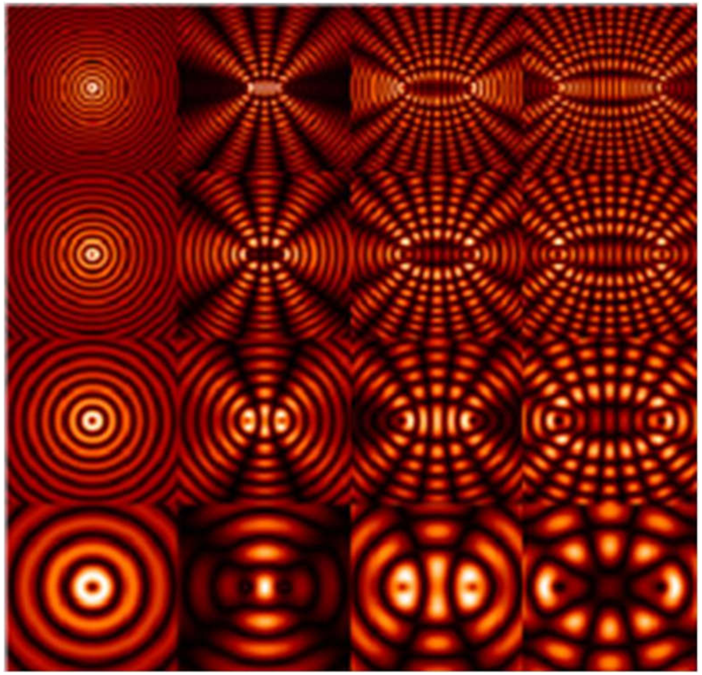
мінімум

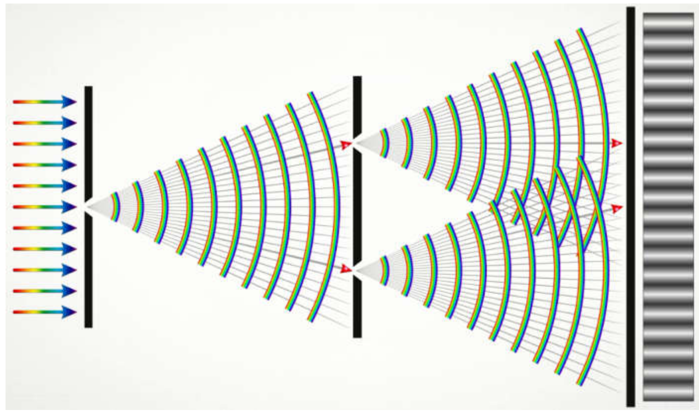
$$\Delta\varphi = (2m+1)\pi$$

$$\Delta = \pm(2m+1)\frac{\lambda_0}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \ldots)$$

Загальна інтерференційна схема (схема Юнга).

Томас Юнг

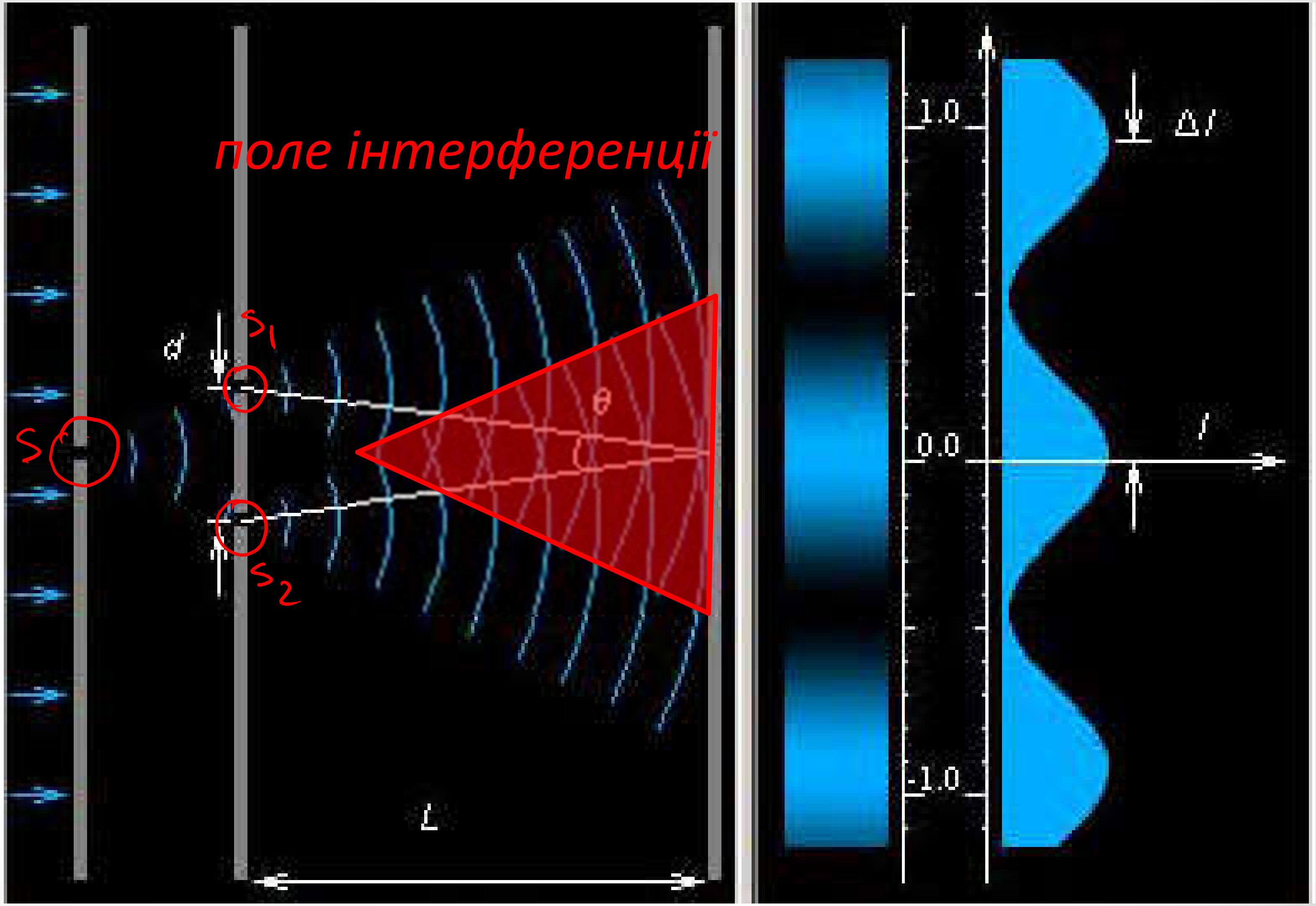


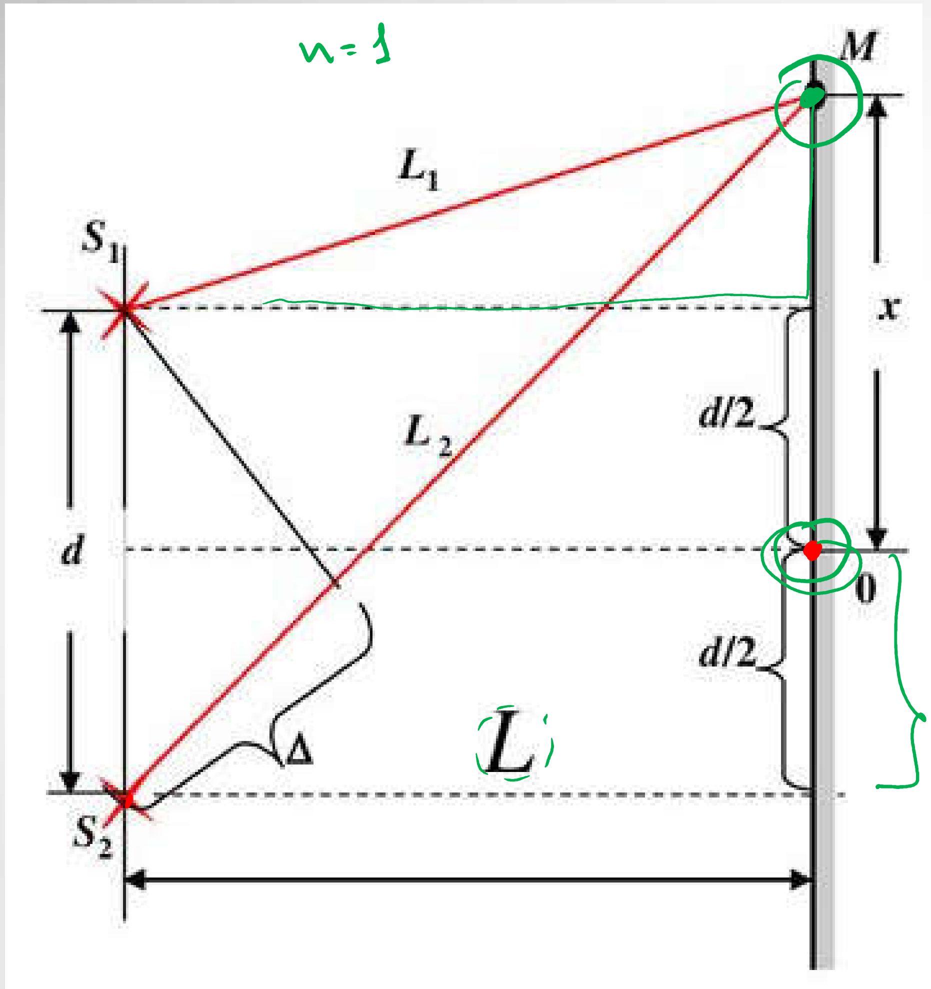


$\varphi_{01} = \varphi_{02} = const$

- *метод поділу хвильового фронту* ✓

- *метод поділу амплітуди*


поле інтерференції
d
S
S1
S2
θ
L
1.0
0.0
-1.0
ΔI
I



$$L_2^2 = L^2 + (x + d/2)^2$$
$$L_1^2 = L^2 + (x - d/2)^2 \Rightarrow L_2^2 - L_1^2 = 2xd$$

$L_2^2 - L_1^2 = (L_2 - L_1)(L_2 + L_1)$

$$\Delta = L_2 - L_1 = \frac{2xd}{\underbrace{L_2 + L_1}} \approx \frac{2xd}{2L} = \frac{xd}{L}$$

$$L >> d.$$

$\Delta_{max} = m\lambda_0 = \frac{xd}{L}$

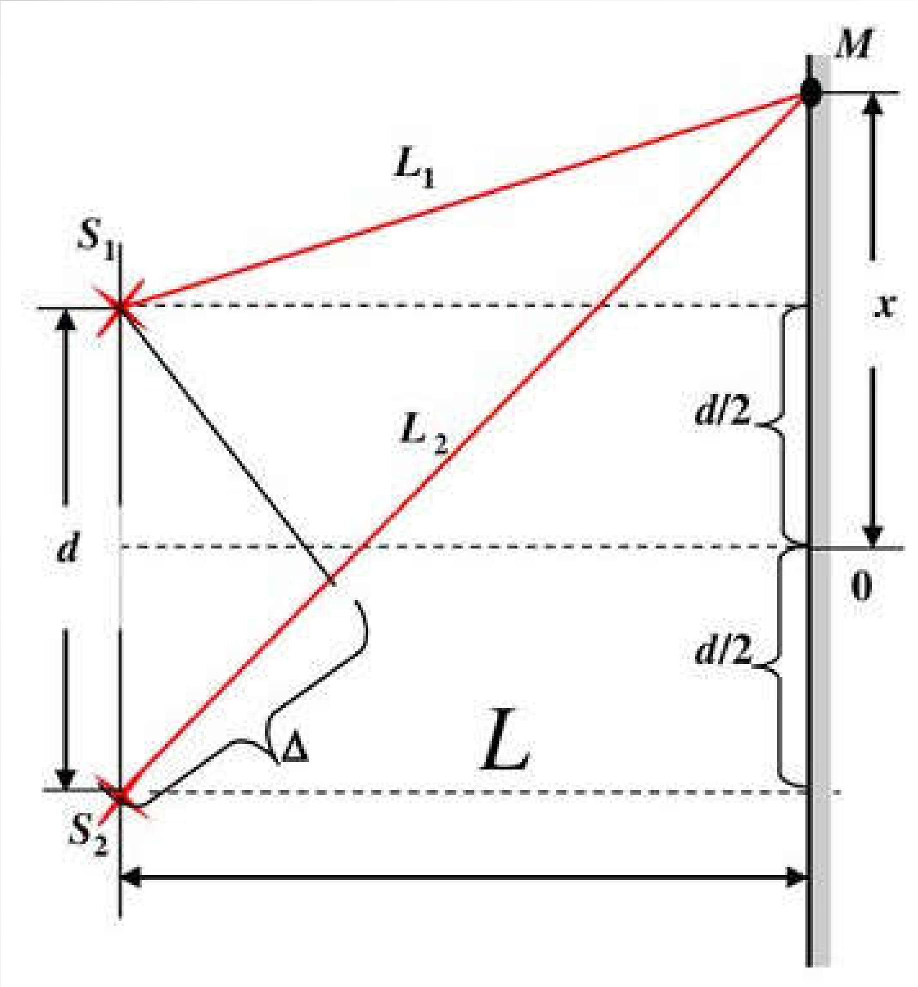
$$x_{max} = m\frac{L}{d}\lambda_0 \qquad x_{min} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\frac{L}{d}\lambda_0$$

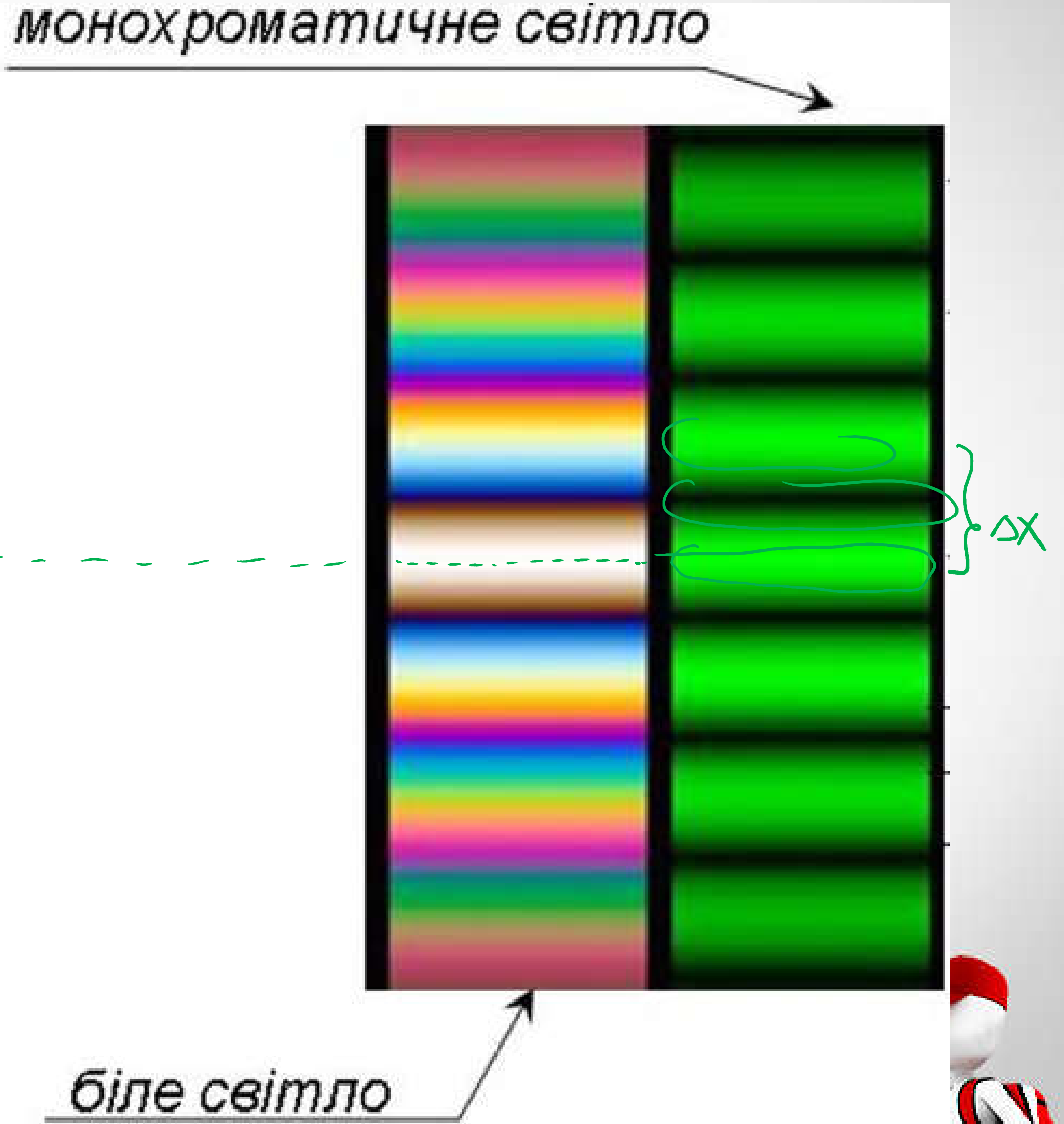
$$(m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots)$$

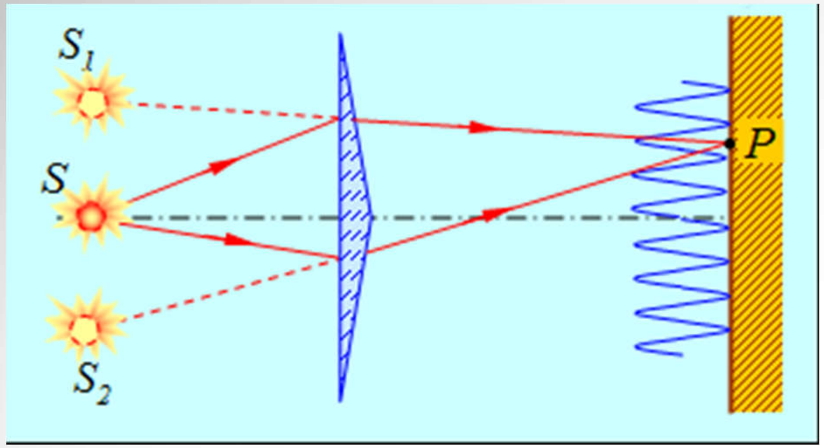
$\lambda = 400 \div 750$ нм

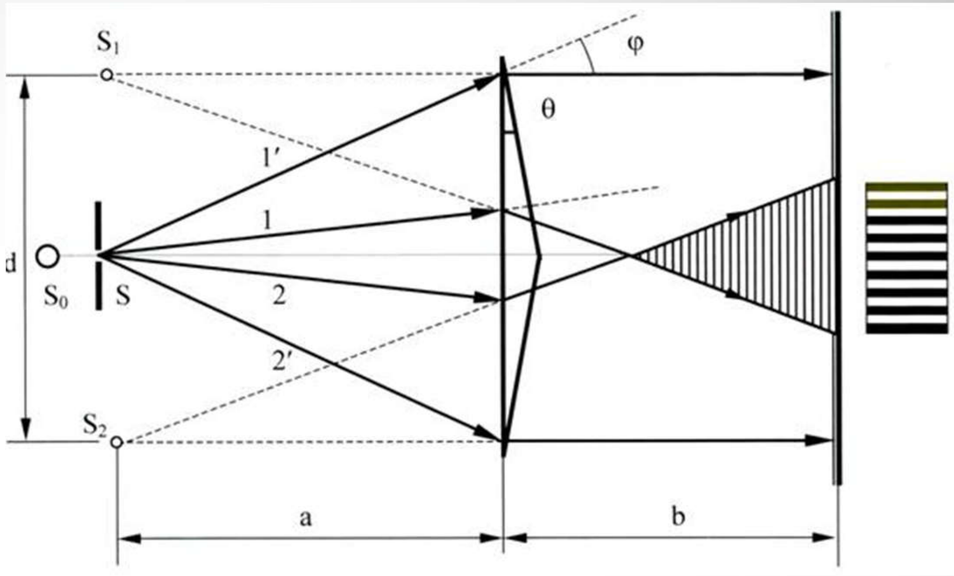
$$\Delta x = m\frac{L}{d}\lambda - (m-1)\frac{L}{d}\lambda = \frac{L}{d}\lambda$$

ширина смуги

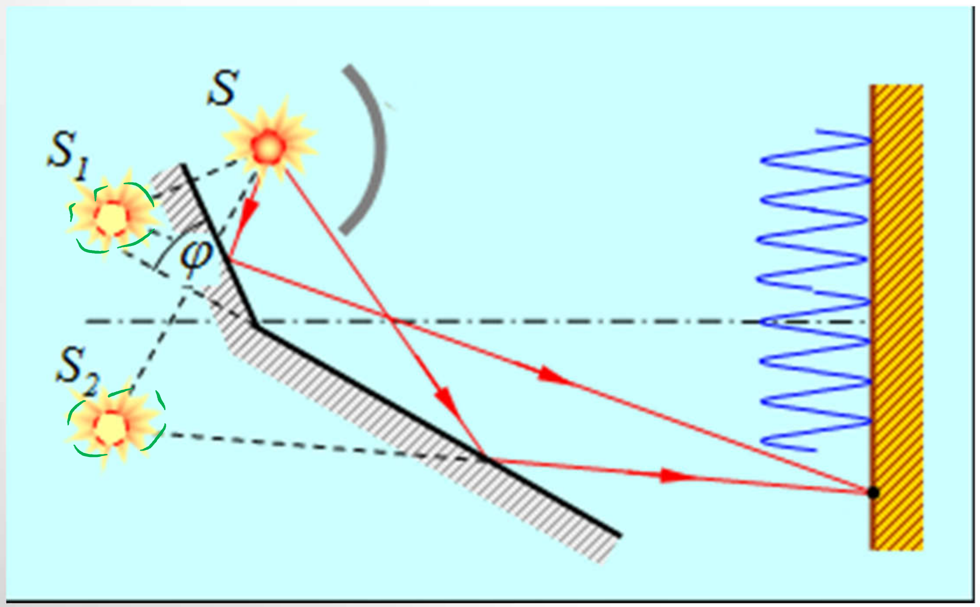

M
L_1
S_1
x
d/2
L_2
d
0
d/2
Δ
L
S_2


монохроматичне світло
ΔX
біле світло





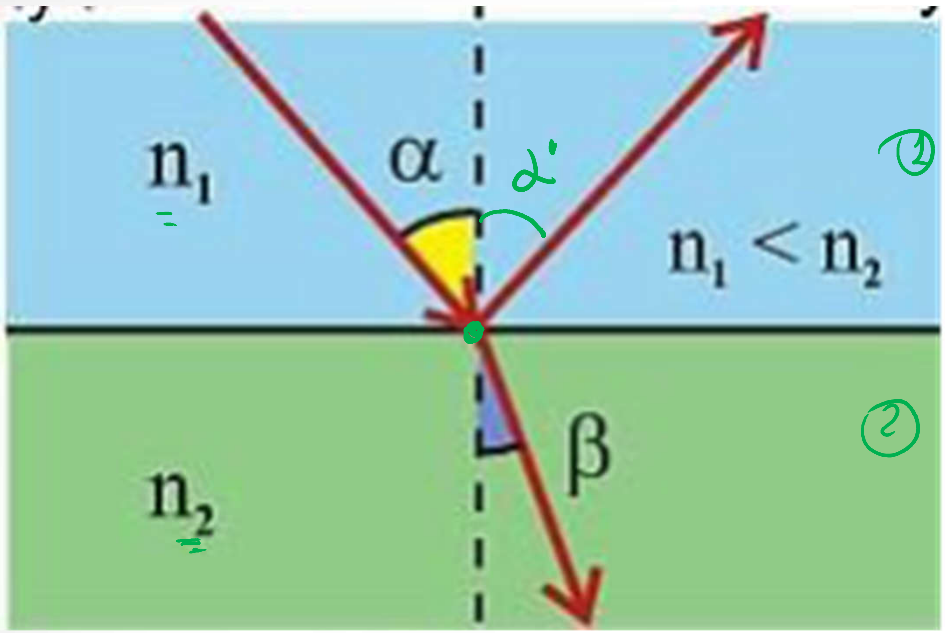
Біпризма Френеля



Бідзеркала Френеля

Інтерференція у тонких плівках.

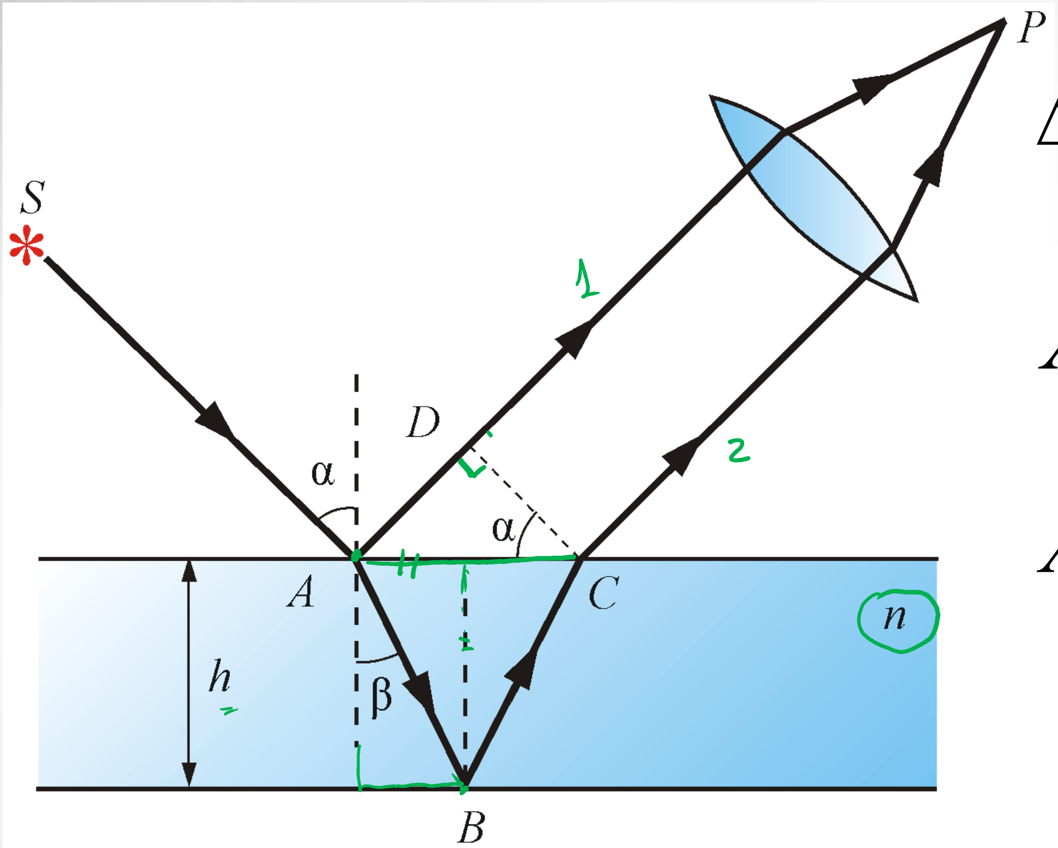
заломлення світла (закон Снеліуса)



$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\alpha = \alpha^{/}$$

$$\Delta_{додаткова} = \begin{cases} \lambda/2, & n_2 > n_1 \\ 0, & n_2 < n_1 \end{cases}$$



$$\Delta = \underline{n(AB+BC)} - \left(AD \pm \frac{1}{2}\lambda \right)$$

$$AB + BC = 2h / \cos\beta$$

$$AD = 2h \cdot tg\beta \cdot \sin\alpha$$

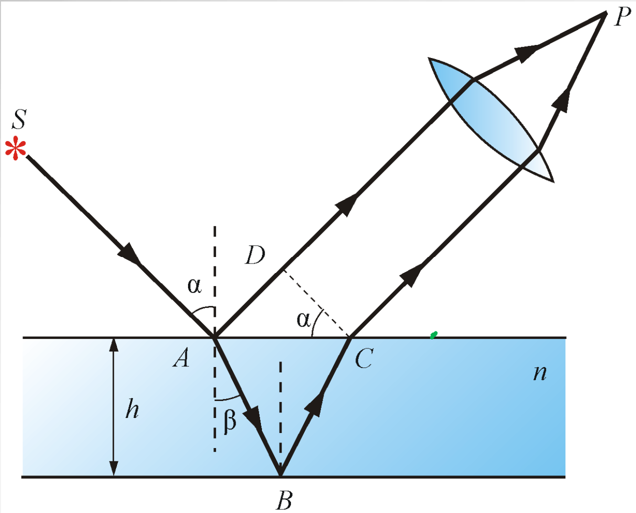
$AC \cdot \sin\alpha$

$tg\beta = \dfrac{\sin\beta}{\cos\beta}$

$$\Delta = 2hn/\cos\beta - 2htg\beta\sin\alpha \pm \frac{1}{2}\lambda$$

$= \sqrt{1-\sin^2\beta}$

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n \qquad \cos\beta = \sqrt{1 - \frac{\sin^2\alpha}{n^2}} = \frac{1}{n}\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}$$

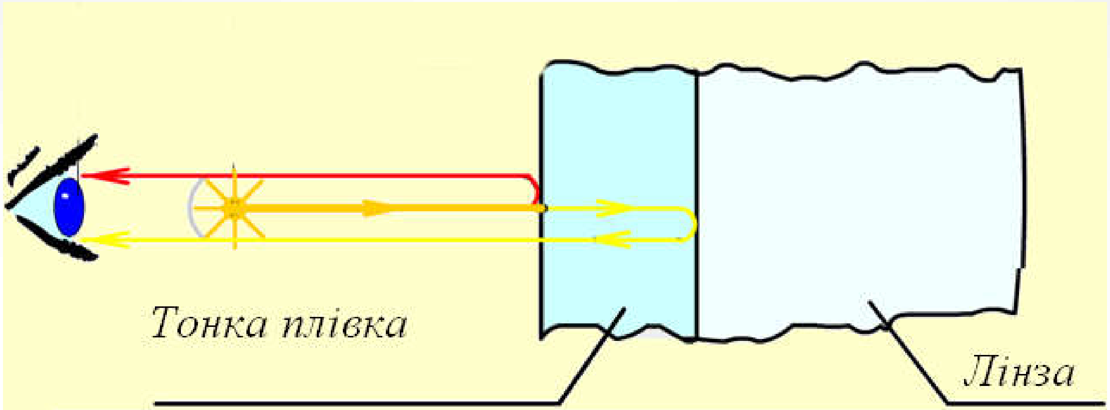


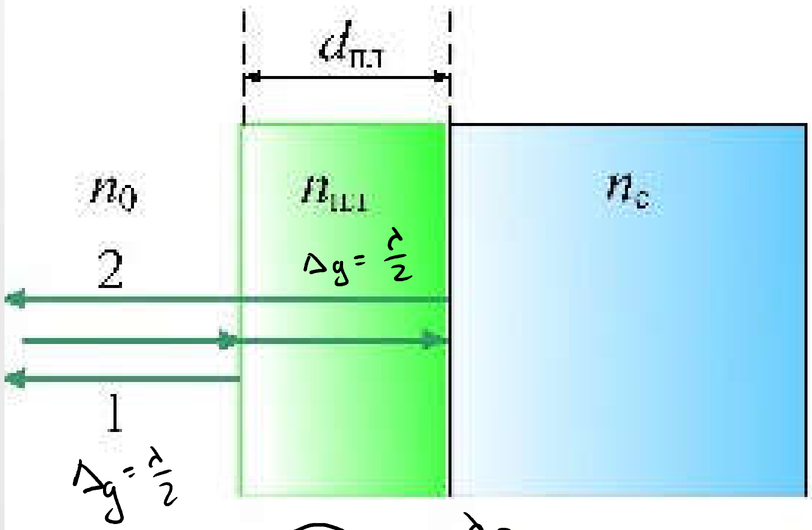
$$\Delta = \frac{2hn^2}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} - \frac{2h\sin^2\alpha \cdot n}{n\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} \pm \frac{1}{2}\lambda =$$

$$\frac{2h\left(n^2 - \sin^2\alpha\right)}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} \pm \frac{1}{2}\lambda = 2h\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} \pm \frac{1}{2}\lambda$$

$$\Delta = 2nh\cos\beta \pm \frac{\lambda}{2} = 2h\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} \pm \frac{\lambda}{2}$$

Просвітлення оптики





$$n_0 < n_{пл} < n_c$$

$$\Delta = \underbrace{2d_{пл}n_{пл}} = \underbrace{(2m+1)\frac{\lambda}{2}}_{m=0}$$

1%

$$\boxed{d_{пл\,min} = \frac{\lambda}{4n_{пл}}}$$ ← λ з

фазова умова просвітлення

$$\boxed{n_{пл} = \sqrt{n_c}}$$

амплітудна умова просвітлення

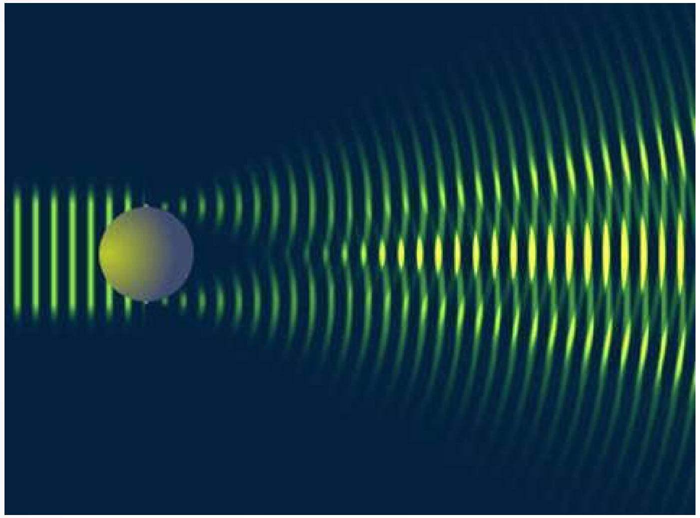
Дифракція світла. Принцип Гюйгенса-Френеля.

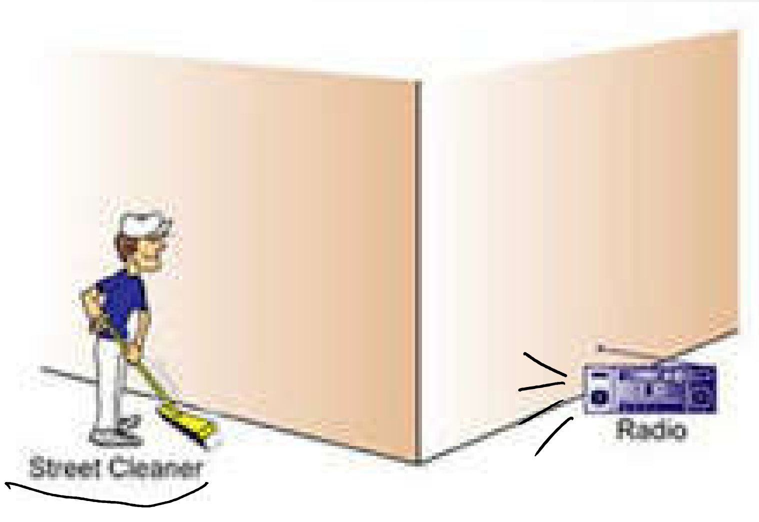
Христиа́н Гю́йгенс ван Зёйлихем

Огюстен Жан Френель

Франческо Марія Грімальді

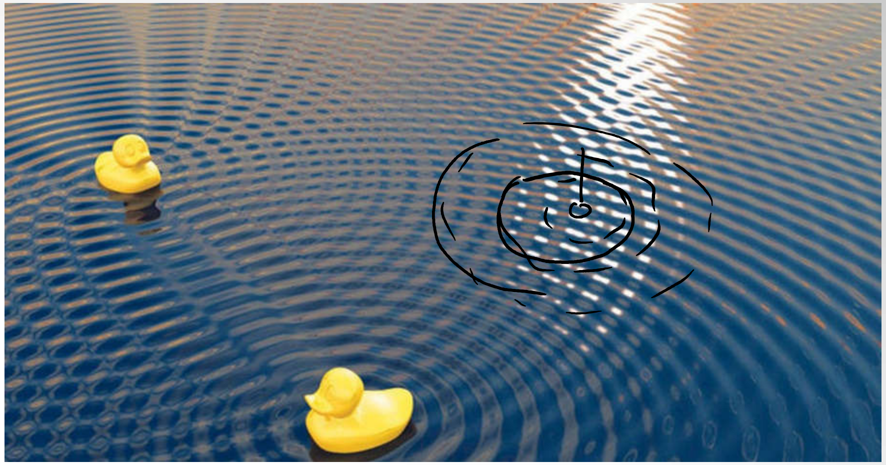
***Дифракція** – будь-яке відхилення від прямолінійного поширення світла, яке не зводиться до відбивання та заломлення або викривлення світлових променів у середовищі, де неперервно змінюється показник заломлення*





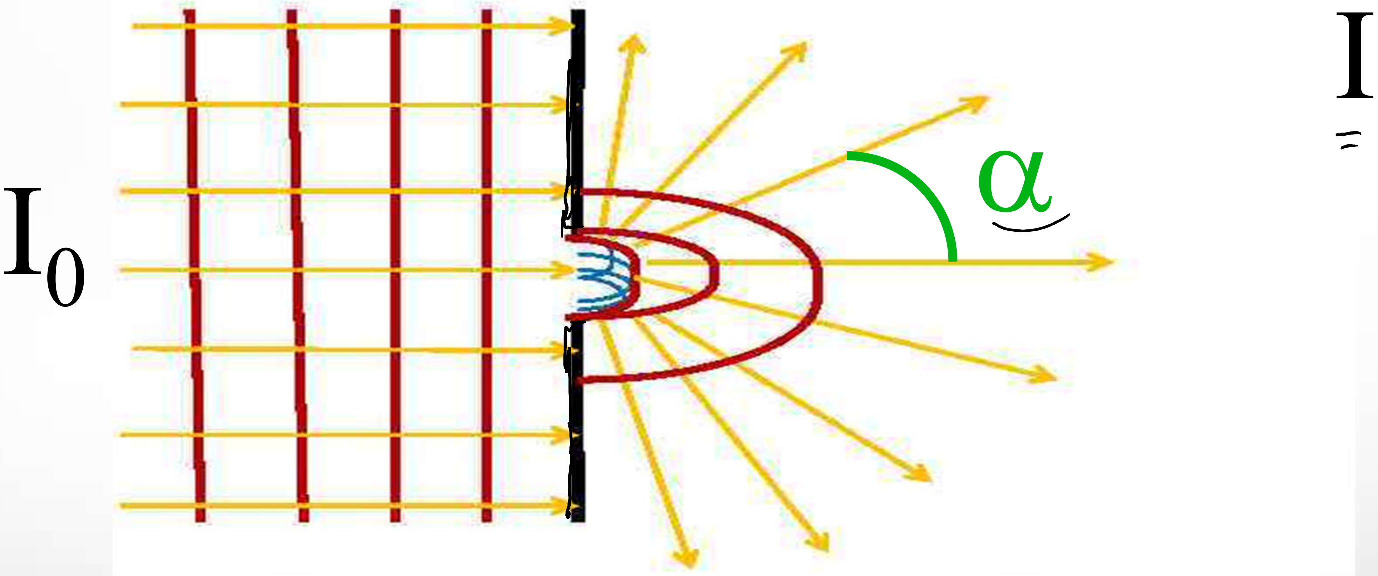
1665 Грімальді
Гук

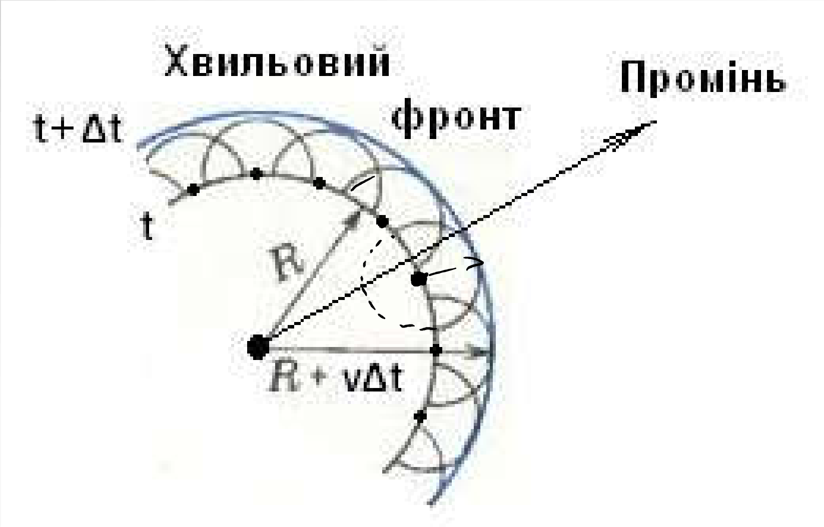
$d > \lambda$

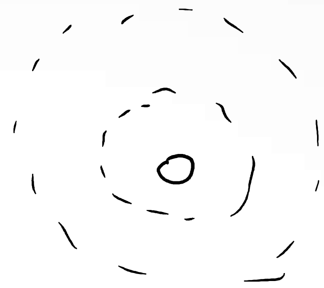


система рівнянь Максвела

$I(\alpha)$-?





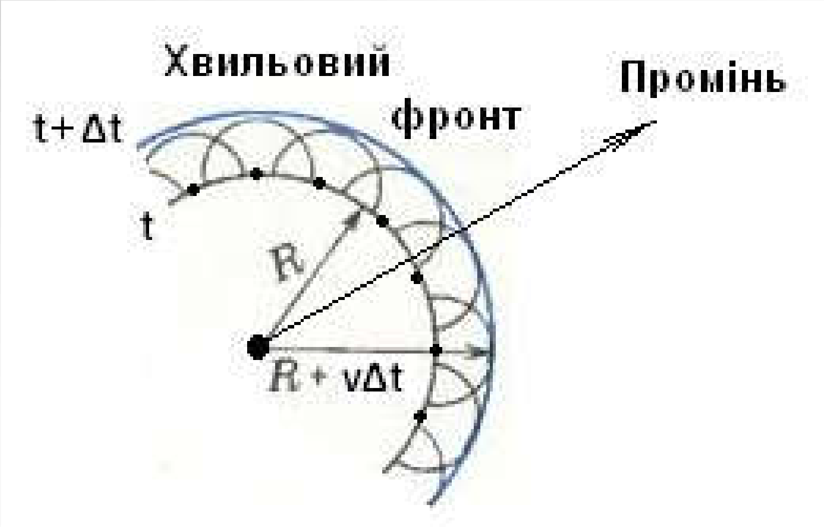


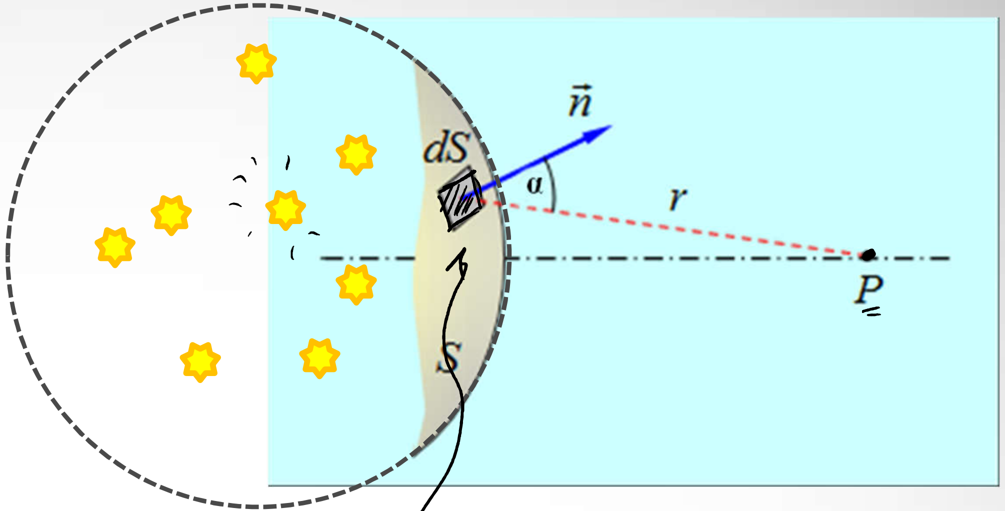
Гюйгенс: *кожна точка хвильового фронту є джерелом сферичних (вторинних) хвиль;*

огинаюча вторинних хвиль дає картину хвильового фронту у наступні моменти часу

Френель: ~~*огинаюча вторинних хвиль дає картину хвильового фронту у наступні моменти часу;*~~

результуюча хвиля є наслідком інтерференції вторинних хвиль

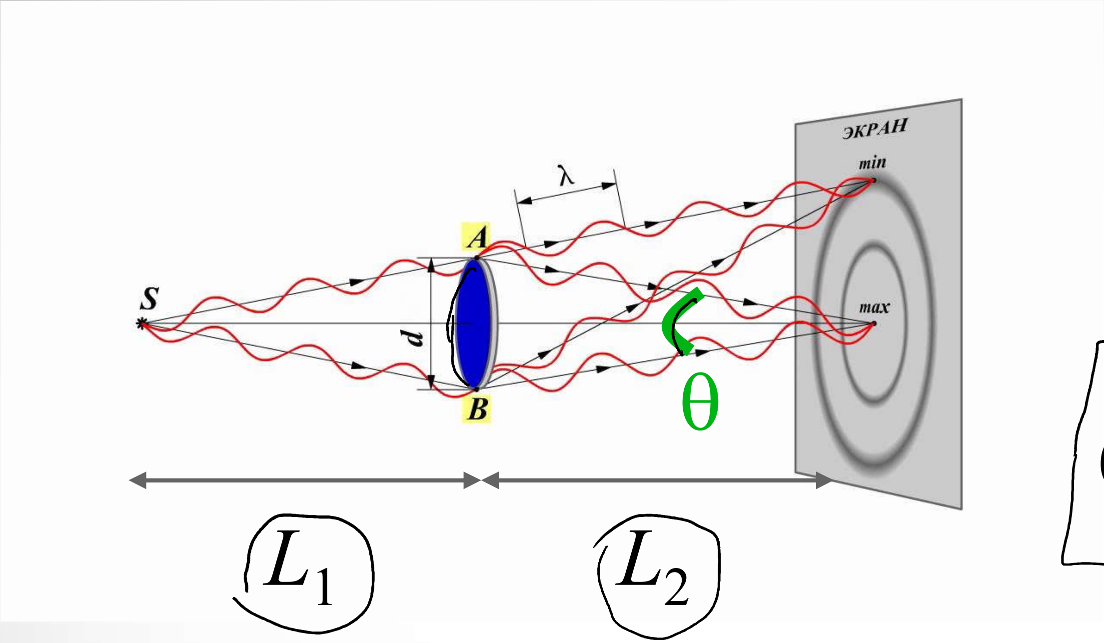




$$dE = K(\alpha)\cdot\frac{E_0\,dS}{r}\cos(\omega t - kr + \varphi_0)$$

$$K(\alpha) = \begin{cases} K_{max}, & \alpha = 0 \\ 0, & \alpha = \pi \end{cases}$$

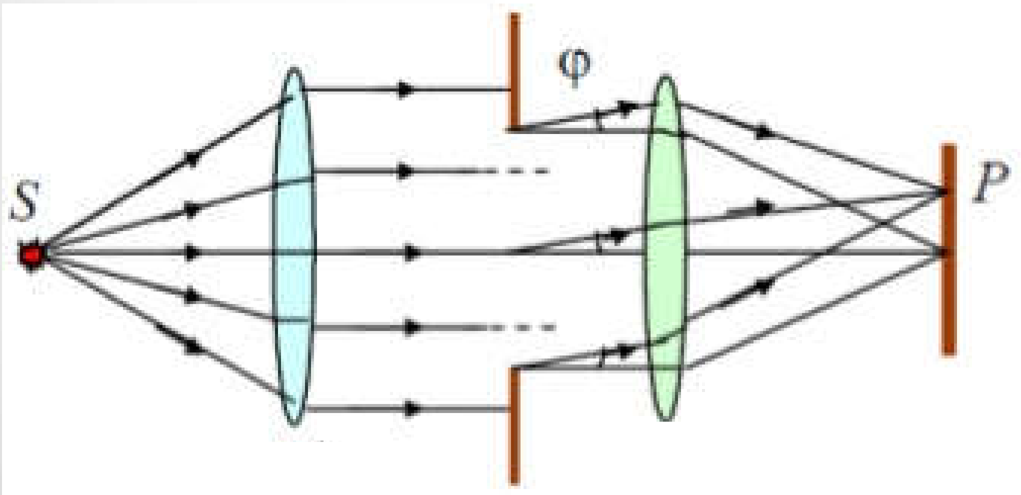
$$E = \oiint\limits_S K(\alpha)\cdot\frac{E_0}{r}\cos(\omega t - kr + \varphi_0)\,dS$$



дифракція Френеля

$$L_1 \text{ або } L_2 < \infty$$

$$\boxed{\theta >> \frac{\lambda}{d};} \quad \frac{d}{L_2} >> \frac{\lambda}{d}; \quad d^2 >> \lambda L_2$$

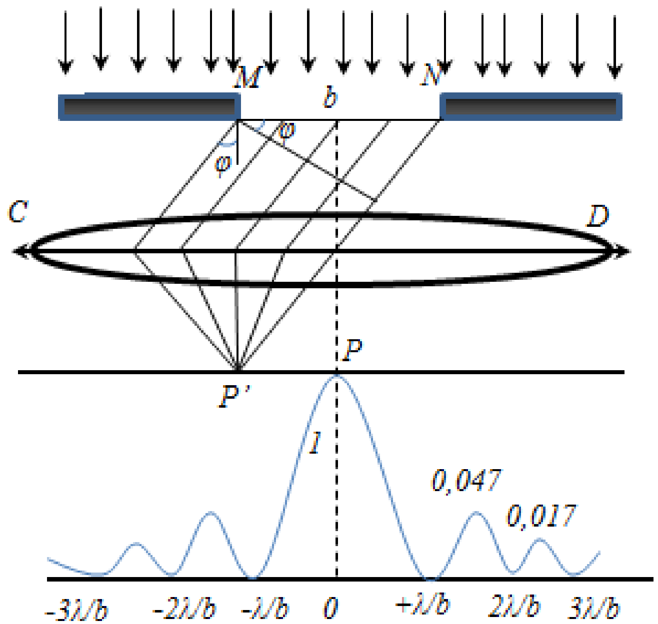


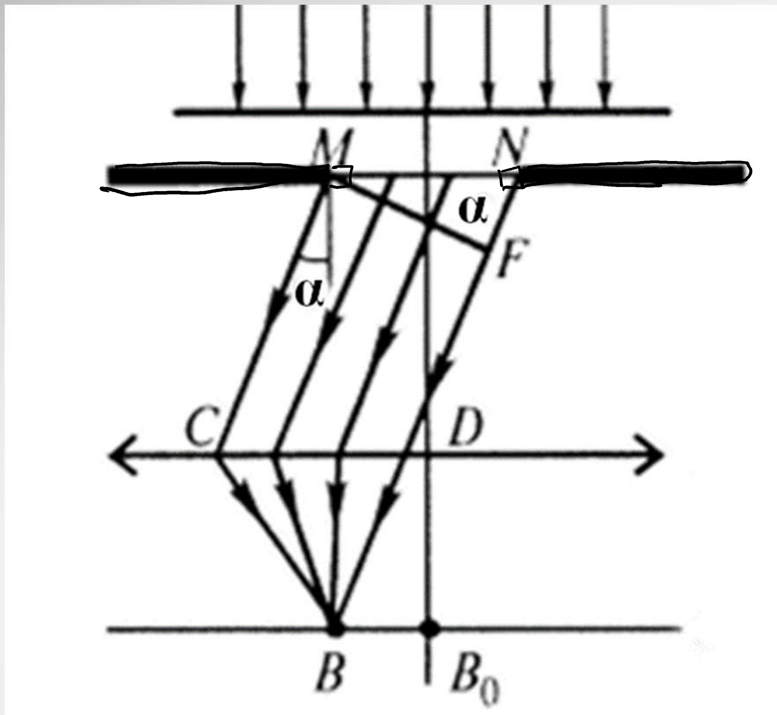
дифракція Фраунгофера

$$L_1, L_2 >> d$$

Дифракція паралельних променів на щілині.

Йозеф фон Фраунгофер





$$dE = K(\alpha)\cdot\frac{E_0\, dS}{\cancel{r}}\cos(\omega t - \cancel{kr} + \varphi_0)$$

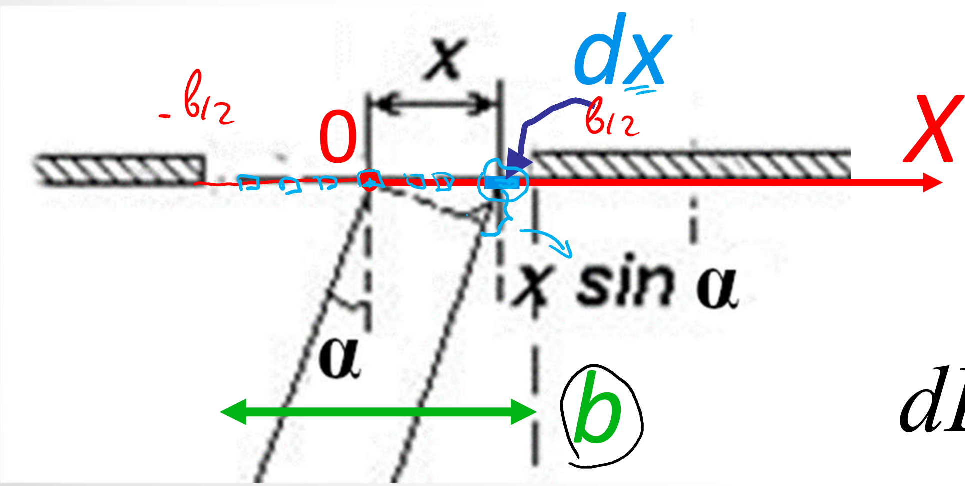
хвилі плоскі

α не дуже велике => $K(\alpha)$ стале

$$e^{i\beta} = \cos\beta + i\sin\beta \qquad \mathrm{Re}(e^{i\beta}) = \cos\beta$$

I(α)

$$dE_\alpha = dE_{\alpha 0}\, e^{i(\omega t+\varphi_0)}$$

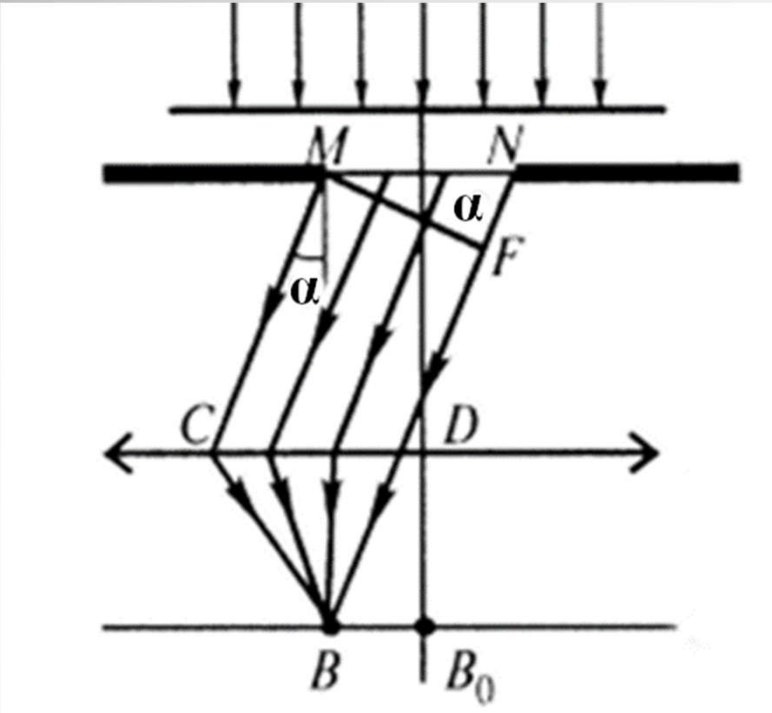


$$x = 0 \qquad \varphi_0 = 0$$

$$\varphi_0(x) = -2\pi\frac{\Delta}{\lambda} = -2\pi\frac{x\sin\alpha}{\lambda}$$

$$dE_{\alpha 0} = A_0\frac{dx}{b}$$

сума амплітуд коливань
всіх вторинних джерел



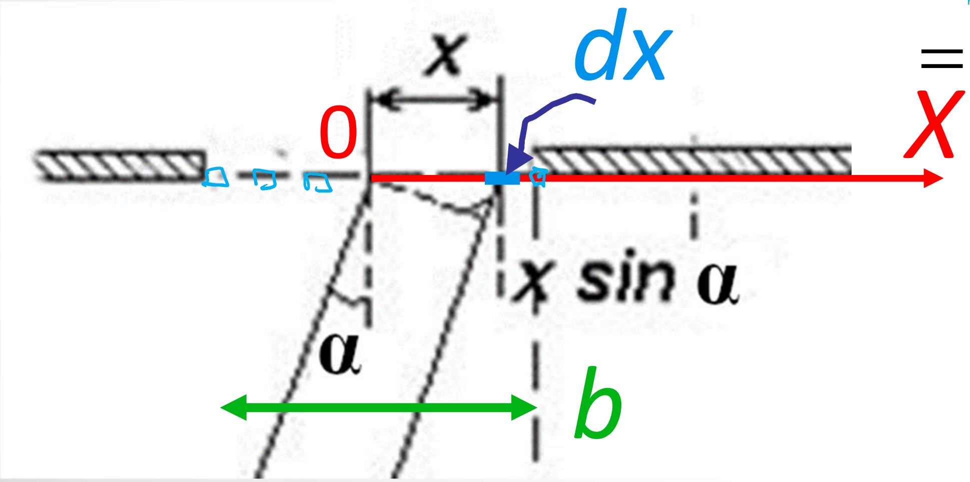
$$dE_\alpha = dE_{\alpha 0}\, e^{i(\omega t+\varphi_0)}$$

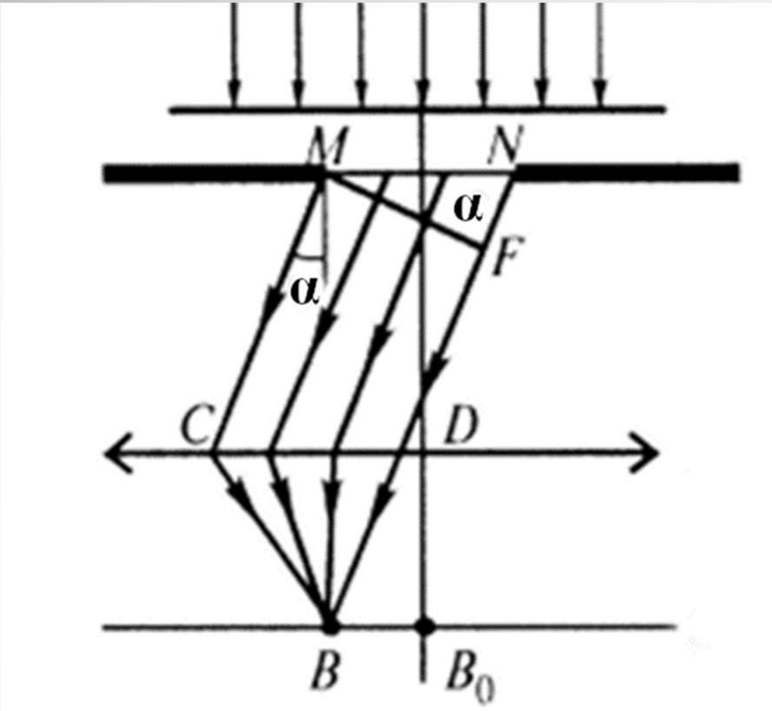
$$dE_\alpha(x) = A_0 \frac{dx}{b} \exp[i(\omega t - 2\pi \frac{x \sin\alpha}{\lambda})]$$

$$E(\alpha) = \sum_{x=-b/2}^{b/2} dE_\alpha(x) = \int dE_\alpha(x) =$$

$$= \int_{-b/2}^{b/2} \frac{A_0}{b} \exp[i(\omega t - 2\pi \frac{x \sin\alpha}{\lambda})]\, dx =$$

$$= \frac{A_0}{b} e^{i\omega t} \int_{-b/2}^{b/2} \exp[-i 2\pi \frac{x \sin\alpha}{\lambda}]\, dx =$$





$$= \frac{A_0}{b} e^{i\omega t} \int_{-b/2}^{b/2} \exp[-i2\pi \frac{x \sin\alpha}{\lambda}] dx =$$

$$= \frac{A_0 e^{i\omega t}}{b} \left(-\frac{\lambda}{2\pi i \sin\alpha} \right) \exp[-i2\pi \frac{x\sin\alpha}{\lambda}] \Big|_{-b/2}^{b/2} =$$

$$= \frac{A_0 e^{i\omega t}}{b} \frac{\lambda}{\pi \sin\alpha} \left(\frac{\exp[i \frac{b\pi \sin\alpha}{\lambda}] - \exp[-i \frac{b\pi\sin\alpha}{\lambda}]}{2i} \right) =$$

$$\sin\beta = \frac{e^{i\beta} - e^{-i\beta}}{2i}$$

$$E_2 \quad = A_0 e^{i\omega t} \frac{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin\alpha\right)}{\frac{\pi b}{\lambda}\sin\alpha} =$$

$$E_\alpha = A_0 \frac{\sin\left(\dfrac{\pi b}{\lambda}\sin\alpha\right)}{\dfrac{\pi b}{\lambda}\sin\alpha}$$

$$I_\alpha = E_\alpha \cdot E_\alpha^*$$

$$I_\alpha = I_0 \frac{\sin^2\left(\dfrac{\pi b}{\lambda}\sin\alpha\right)}{\left(\dfrac{\pi b}{\lambda}\sin\alpha\right)^2}$$

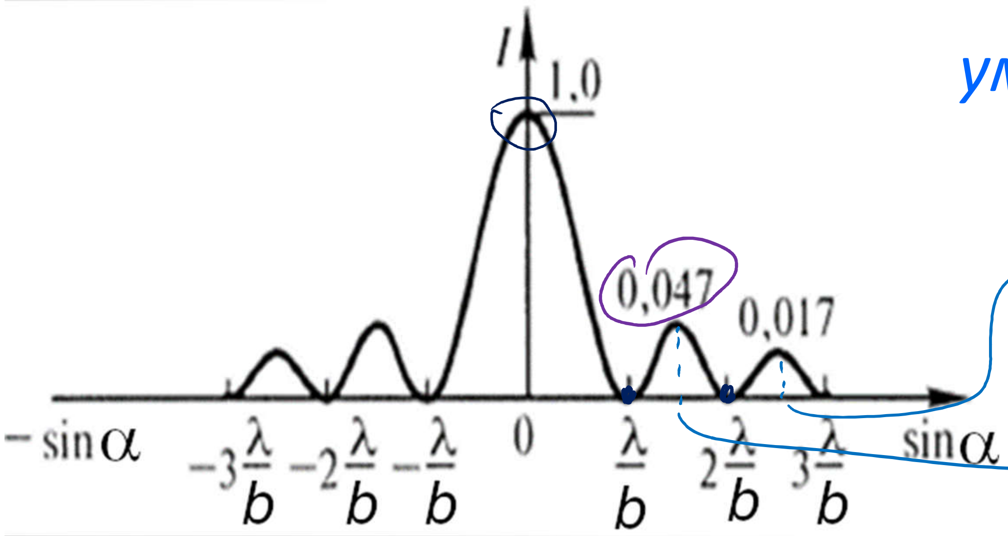
$a)\ \alpha = 0 \quad \lim\limits_{x\to 0}\dfrac{\sin x}{x} = 1 \qquad E_\alpha = A_0$

$\alpha \le \frac{\pi}{2}$

$б)\ \dfrac{\cancel{\pi} b\sin\alpha}{\lambda} = \cancel{\pi} m \qquad b\sin\alpha = m\lambda \qquad E_\alpha = 0 \qquad m = \pm 1, \pm 2 \ldots$

$\sin\alpha \le 1$

кількість мінімумів - [b/λ]

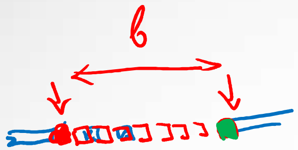


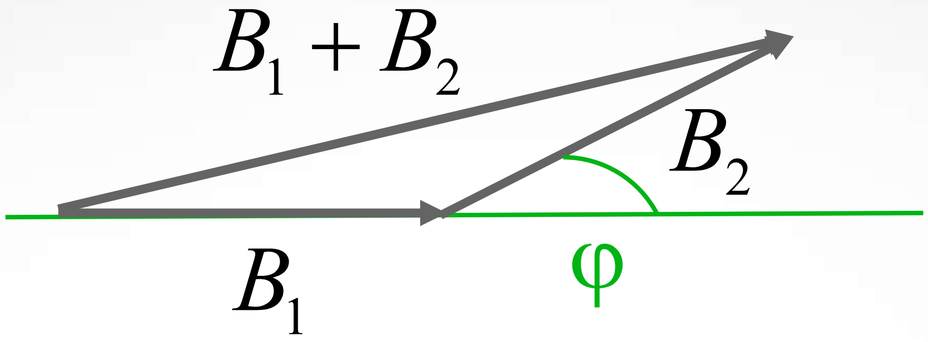
умова максимуму (окрім нульового)

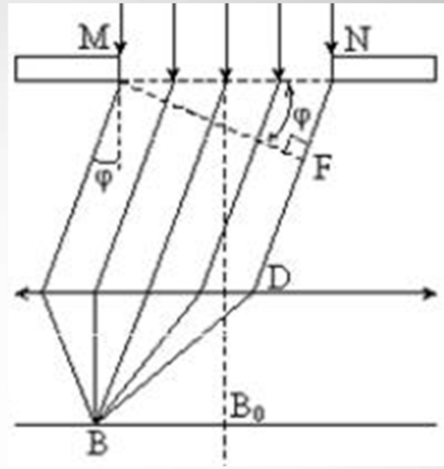
$$b\sin\alpha = (2m+1)\frac{\lambda}{2}$$

$$B_1 = \underbrace{B_0}\, e^{i\omega t}$$

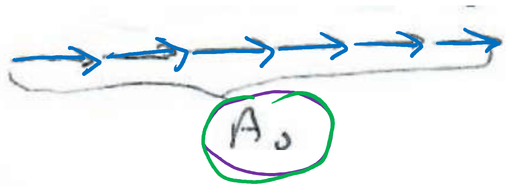
$$B_2 = B_0\, e^{i(\omega t + \varphi)}$$

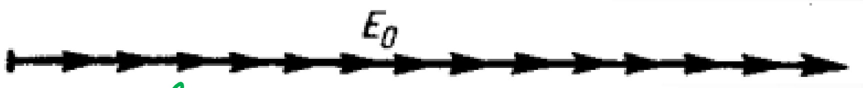






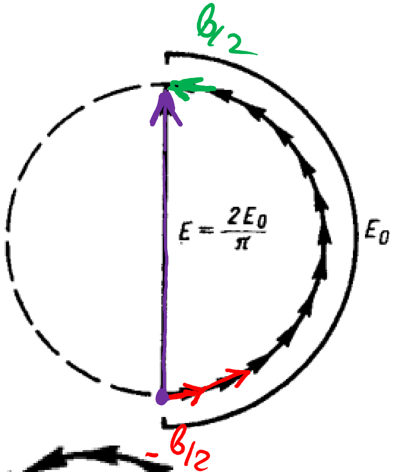
$a)\ \alpha = 0$





$$\underbrace{E_\alpha = A_0}$$

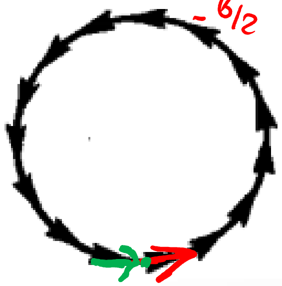
б) $b\sin\alpha = \dfrac{\lambda}{2}$ $\quad \Delta\varphi = 2\pi\dfrac{\lambda}{2} = \pi$



$\underbrace{2A_0} = \pi \underbrace{E_\alpha}$ довжина кола

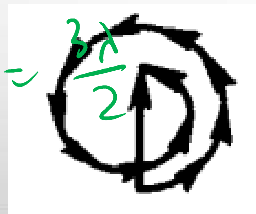
$$\underbrace{E_\alpha} = \frac{2A_0}{\pi} \qquad I_\alpha = \frac{4A_0^2}{\pi^2}$$

в) $b\sin\alpha = m\lambda$ $\quad \Delta\varphi = 2\pi$



$E_\alpha = 0$

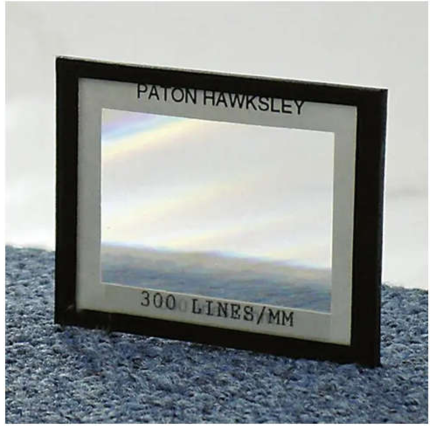
$b\sin\alpha = \dfrac{3\lambda}{2}$



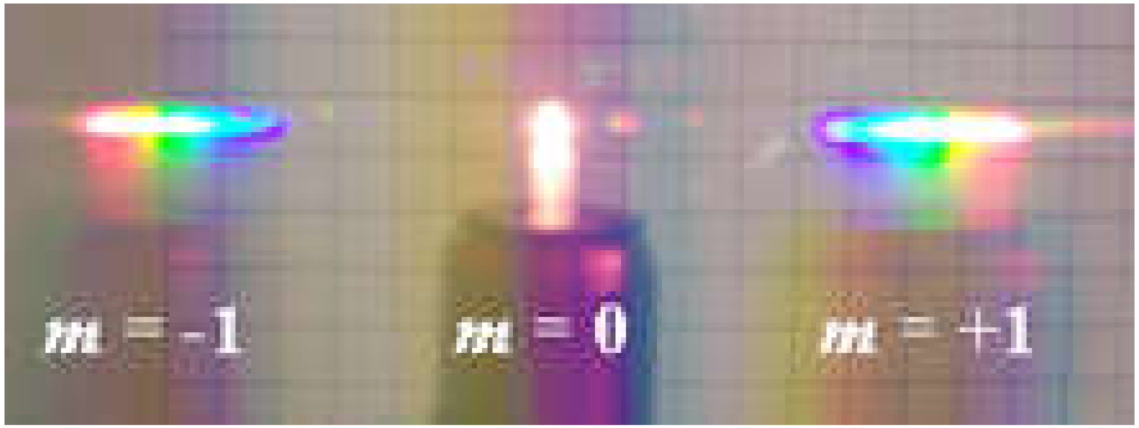
$\Delta\varphi = 3\pi$

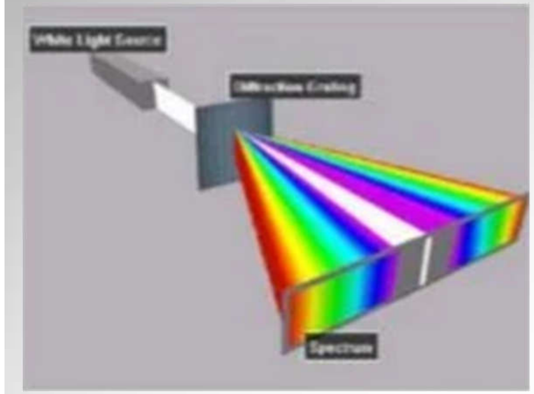
$E_1 = \dfrac{2E_0}{3\pi}$

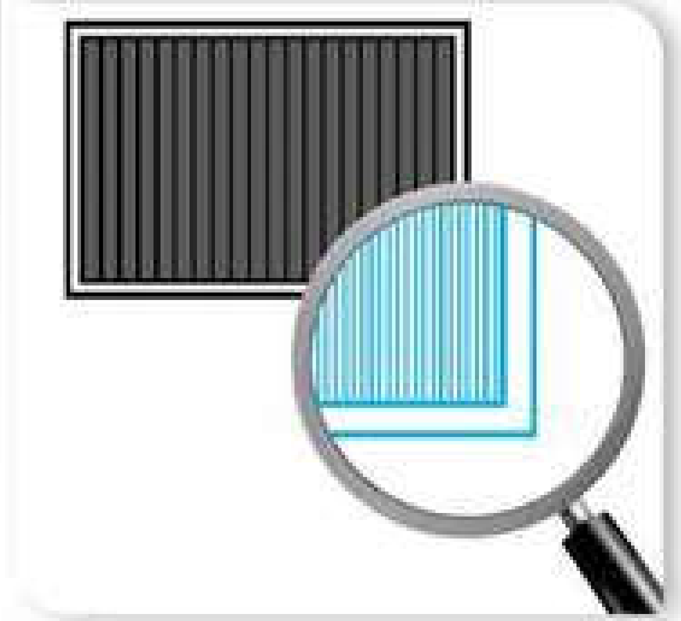
Дифракційна гратка. Дисперсія і роздільна здатність дифракційної гратки. Критерій Релея.

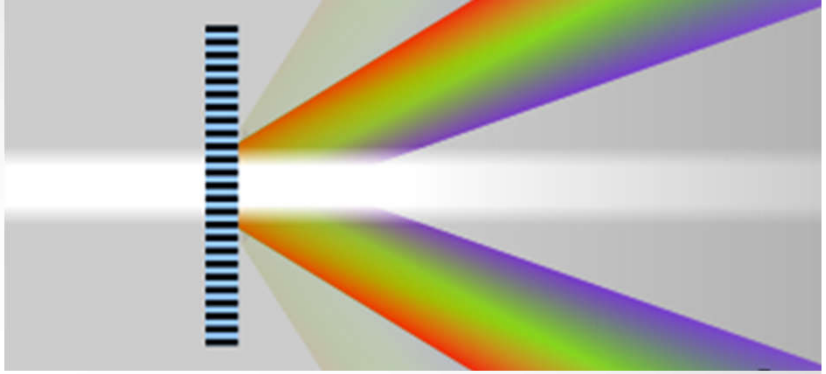


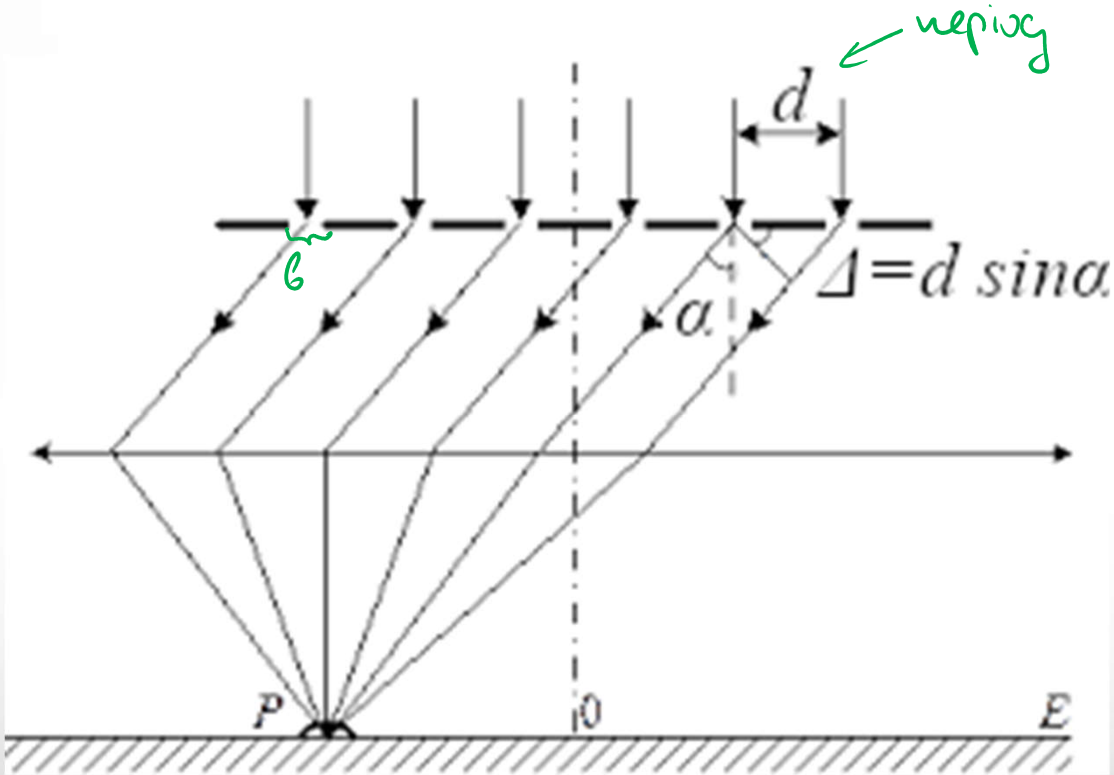
https://youtu.be/0rz1WWmts-c

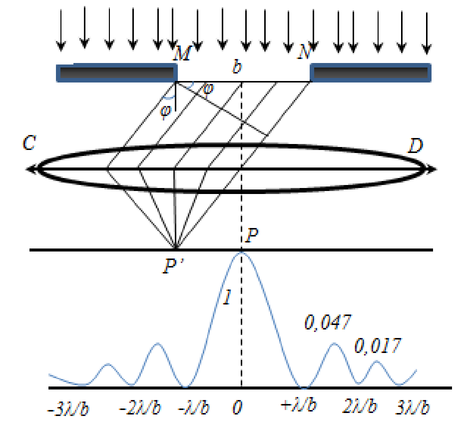



White Light Source
Diffraction Grating
Spectrum

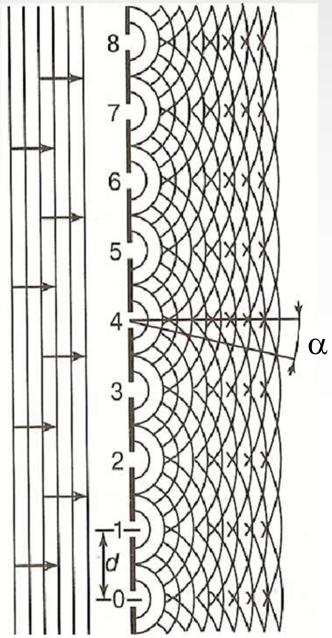





період
d
b
Δ=d sinα
α
P
0
E



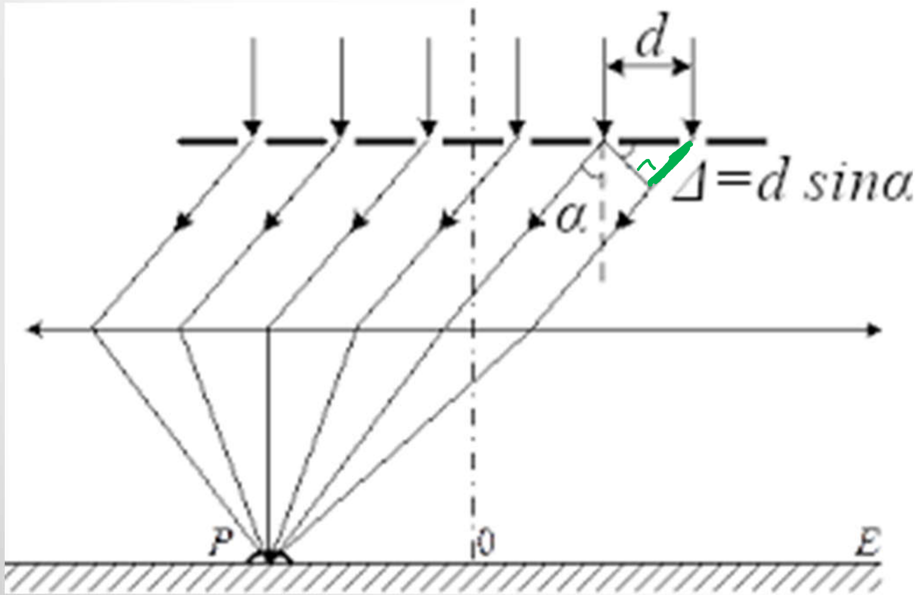
$$I_\alpha = I_0 \frac{\sin^2\left(\dfrac{\pi b}{\lambda}\sin\alpha\right)}{\left(\dfrac{\pi b}{\lambda}\sin\alpha\right)^2}$$



N щілин

для некогерентних коливань

$$I = N\cdot I_\alpha = N\cdot I_0 \frac{\sin^2\left(\dfrac{\pi b}{\lambda}\sin\alpha\right)}{\left(\dfrac{\pi b}{\lambda}\sin\alpha\right)^2}$$

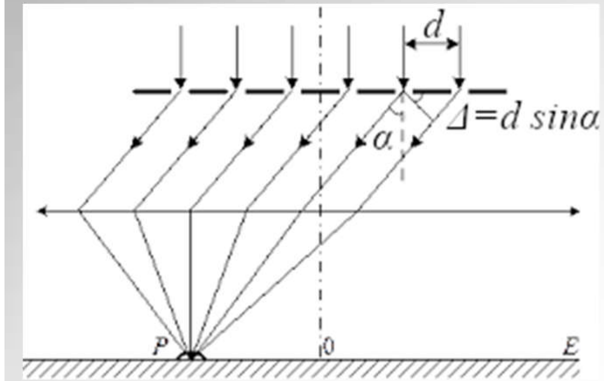


Коливання в т.Р є сумою N коливань з однаковими амплітудами

$$E_\alpha = A_0 \frac{\sin\left(\dfrac{\pi b}{\lambda}\sin\alpha\right)}{\dfrac{\pi b}{\lambda}\sin\alpha},$$

зсунутих між собою на

$$\delta = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} = \frac{2\pi d\sin\alpha}{\lambda}$$



$$E=\sum_{k=1}^{N}E_\alpha \exp\left[i\left(\omega t-(k-1)\delta\right)\right]=E_\alpha \exp\left(i\omega t\right)\sum_{k=1}^{N}\exp\left[-i\left(k-1\right)\delta\right]$$

$$1+e^{-i\delta}+e^{-2i\delta}+\ldots$$

b_1

$$S_N=b_1+b_1q+b_1q^2+\ldots=\frac{b_1(1-q^N)}{1-q}$$

$$E=E_\alpha \exp\left(i\omega t\right)\frac{1-\exp(-iN\delta)}{1-\exp(-i\delta)}$$

$E\cdot E^*$ $\qquad i\to 1$

$$I=|E|^2=E_\alpha^2\cdot\frac{[1-\exp(-iN\delta)]}{[1-\exp(-i\delta)]}\cdot\frac{[1-\exp(iN\delta)]}{[1-\exp(i\delta)]}=E_\alpha^2\cdot\frac{2-\exp(-iN\delta)-\exp(iN\delta)}{2-\exp(-i\delta)-\exp(i\delta)}=$$

$$\cos\beta=\frac{\exp(i\beta)+\exp(-i\beta)}{2}$$

$$=E_\alpha^2\cdot\frac{2}{2}\cdot\frac{1-\dfrac{\exp(-iN\delta)+\exp(iN\delta)}{2}}{1-\dfrac{\exp(-i\delta)+\exp(i\delta)}{2}}=E_\alpha^2\cdot\frac{1-\cos(N\delta)}{1-\cos(\delta)}=E_\alpha^2\,\frac{\sin^2\frac{N\delta}{2}}{\sin^2\frac{\delta}{2}}$$

$$1-\cos 2\beta=2\sin^2\beta$$

$$E_\alpha=A_0\frac{\sin\left(\dfrac{\pi b}{\lambda}\sin\alpha\right)}{\dfrac{\pi b}{\lambda}\sin\alpha},$$

$$\delta=\frac{2\pi\Delta}{\lambda}=\frac{2\pi d\sin\alpha}{\lambda}$$

$$\boxed{I=I_0\cdot\frac{\sin^2\left(\dfrac{\pi b}{\lambda}\sin\alpha\right)}{\left(\dfrac{\pi b}{\lambda}\sin\alpha\right)^2}\cdot\frac{\sin^2\left(\dfrac{N\pi d}{\lambda}\sin\alpha\right)}{\left(\dfrac{\pi d}{\lambda}\sin\alpha\right)^2}}$$

$$I = I_0 \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{\pi b}{\lambda}\sin\alpha\right)}{\left(\frac{\pi b}{\lambda}\sin\alpha\right)^2} \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{N\pi d}{\lambda}\sin\alpha\right)}{\left(\frac{\pi d}{\lambda}\sin\alpha\right)^2} = I_\alpha \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{N\delta}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right)}$$

$$\frac{\delta}{2} = \underbrace{\frac{\pi d \sin\alpha}{\lambda} = \pi m}$$

$$\lim_{\delta\to 2\pi m} \frac{\sin^2\left(\frac{N\delta}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right)} = \lim_{\delta\to 2\pi m} \frac{2\sin\left(\frac{N\delta}{2}\right)\cdot\frac{N}{2}\cdot\cos\left(\frac{N\delta}{2}\right)}{2\sin\left(\frac{\delta}{2}\right)\cdot\frac{1}{2}\cdot\cos\left(\frac{\delta}{2}\right)} = \lim_{\delta\to 2\pi m} N\cdot\frac{\sin(N\delta)}{\sin(\delta)} =$$

$$= N \lim_{\delta\to 2\pi m} \frac{N\cos(N\delta)}{\cos(\delta)} = N^2$$

$$\underbrace{d\sin\alpha = m\lambda} \qquad I = I_\alpha \cdot N^2$$ *головні максимуми*

мінімуми: $\underbrace{b\sin\alpha = m\lambda}$ *завдяки одній щілині*

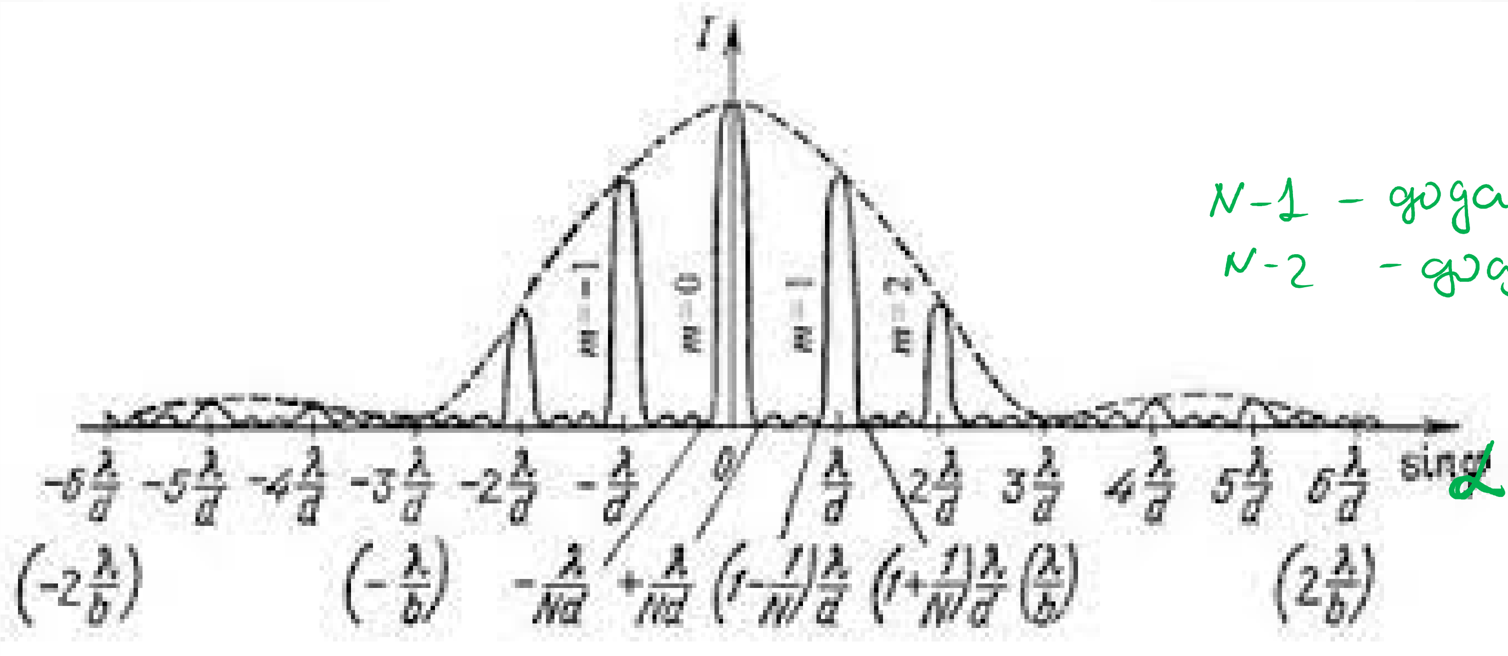
$1 \ldots (N-1)$

$$\frac{N\delta}{2} = \pi m^* \qquad d\sin\alpha = \frac{m^*}{N}\lambda$$ *додаткові мінімуми*

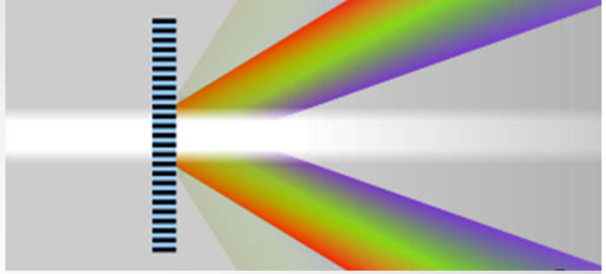
max: $\underbrace{d \sin \alpha = m\lambda}$

min: $b \sin \alpha = m\lambda$

$$d \sin \alpha = \frac{m^*}{N}\lambda$$

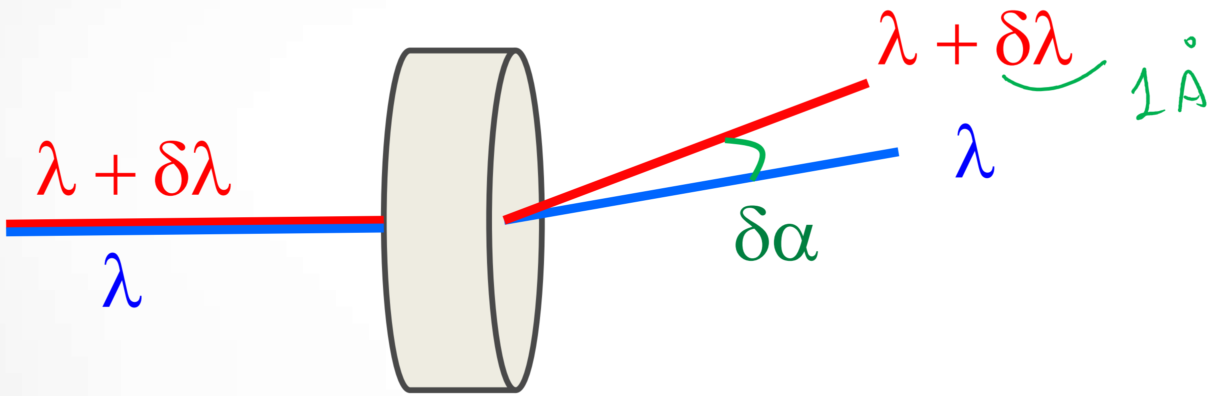


N-1 – додатк. min
N-2 – додатк. max.



кутова дисперсія

$$D_\alpha = \frac{\delta\alpha}{\delta\lambda}$$

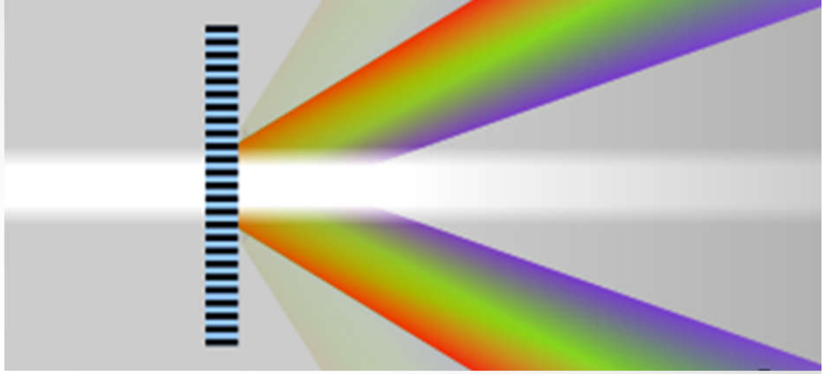


$$d\sin\alpha = m\lambda$$

$$\delta(d\sin\alpha) = \delta(m\lambda)$$

$$d\cos\alpha\cdot\delta\alpha = m\cdot\delta\lambda$$

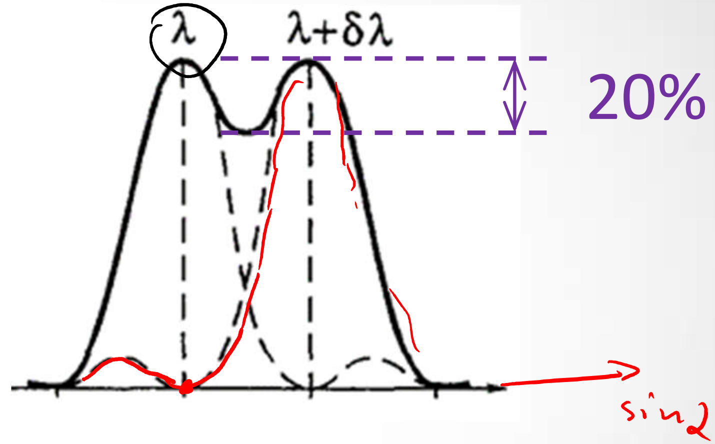
$$D_\alpha = \frac{m}{d\cos\alpha} \approx \frac{m}{d}$$



роздільна здатність

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

критерій Релея



$$d\sin\alpha_{max} = m\lambda$$

$m^* = mN - 1$.

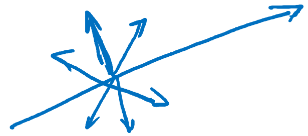
$$d\sin\alpha_{min} = \frac{m^*}{N}(\lambda+\delta\lambda) = \left(m - \frac{1}{N}\right)(\lambda+\delta\lambda)$$

$$\alpha_{max} = \alpha_{min}$$

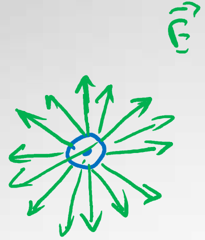
$$m\lambda = m\lambda + m\,\delta\lambda - \frac{\lambda}{N} - \cancel{\frac{\delta\lambda}{N}}$$

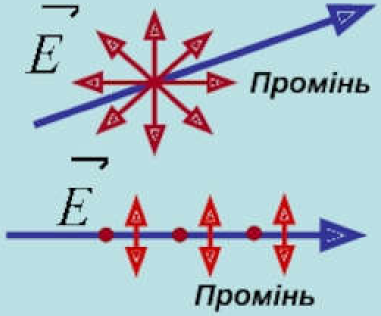
$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = \boxed{mN}$$

Поляризація світла. Природне та поляризоване світло. Закон Малюса.



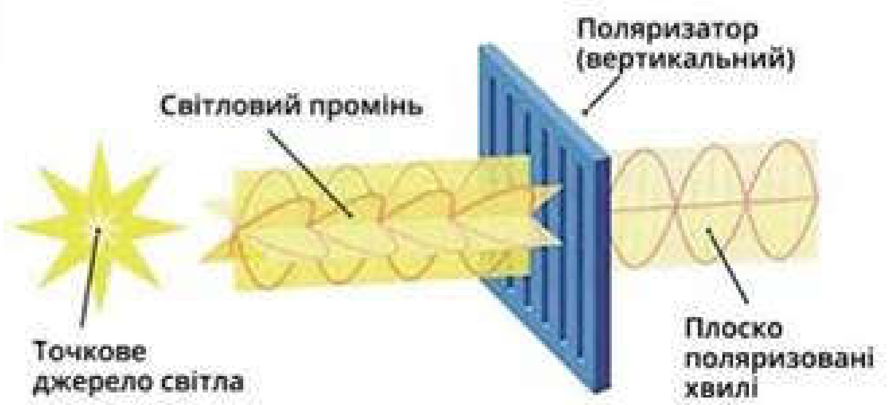
Етьєн Луї
Малюс

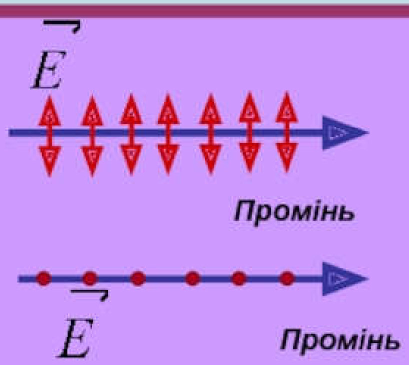




природне

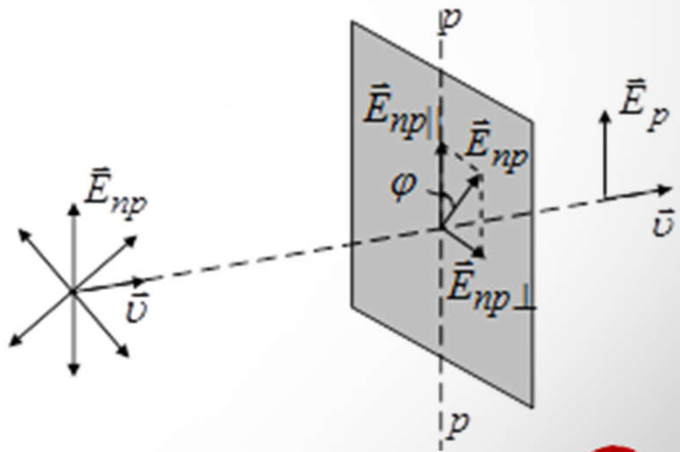
Неполяризоване світло





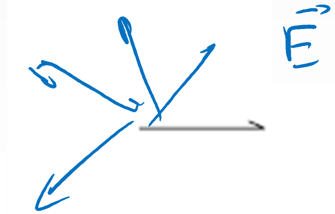
плоско

Лінійно поляризоване світло



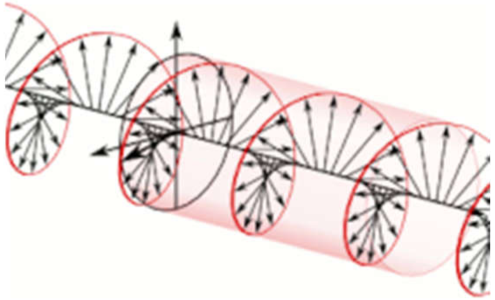
лінійно поляризоване

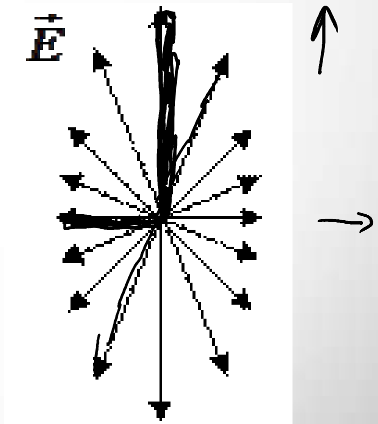
циркулярно поляризоване

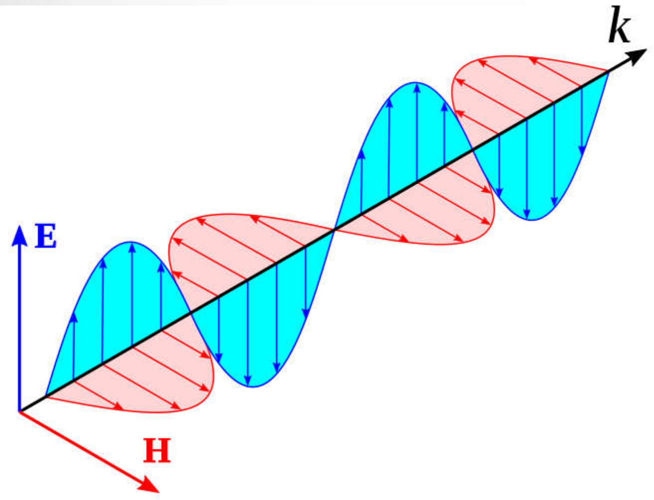


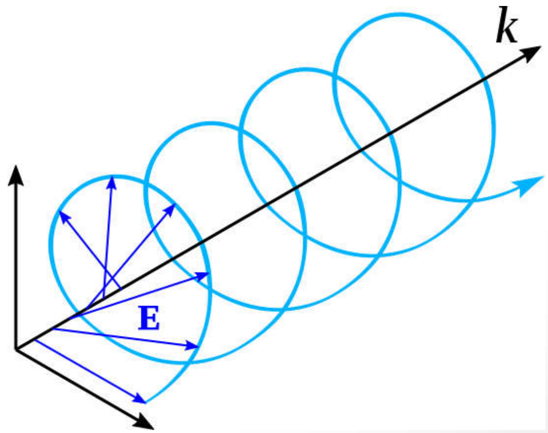
еліптично поляризоване

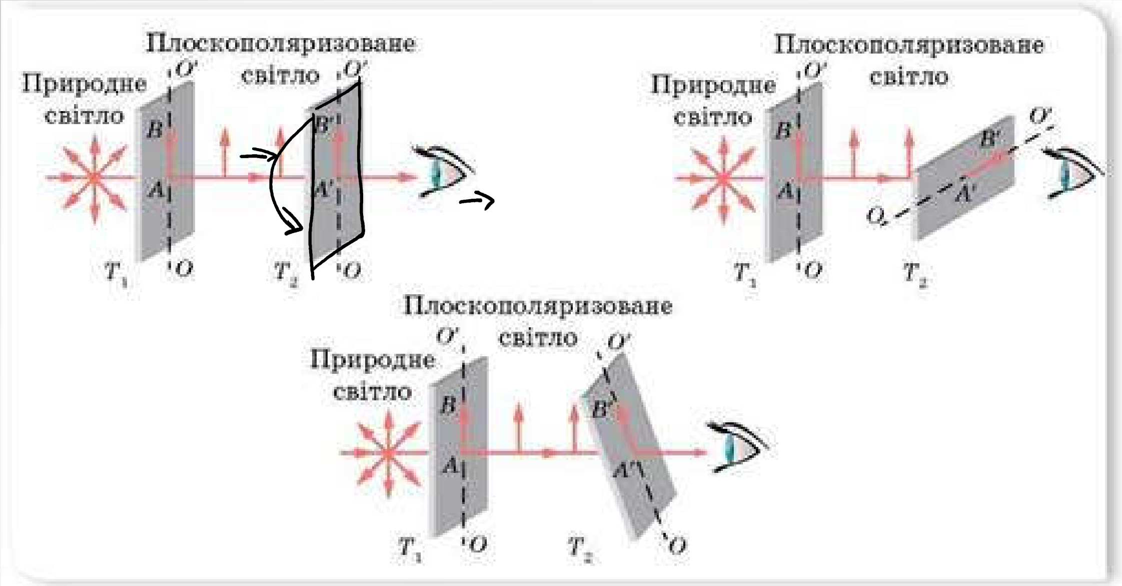
частково поляризоване











ступінь поляризації

$$P = \frac{\bar{I}_{max} - \bar{I}_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

природнє

$I_{max} = I_{min}$ $\quad P = 0$

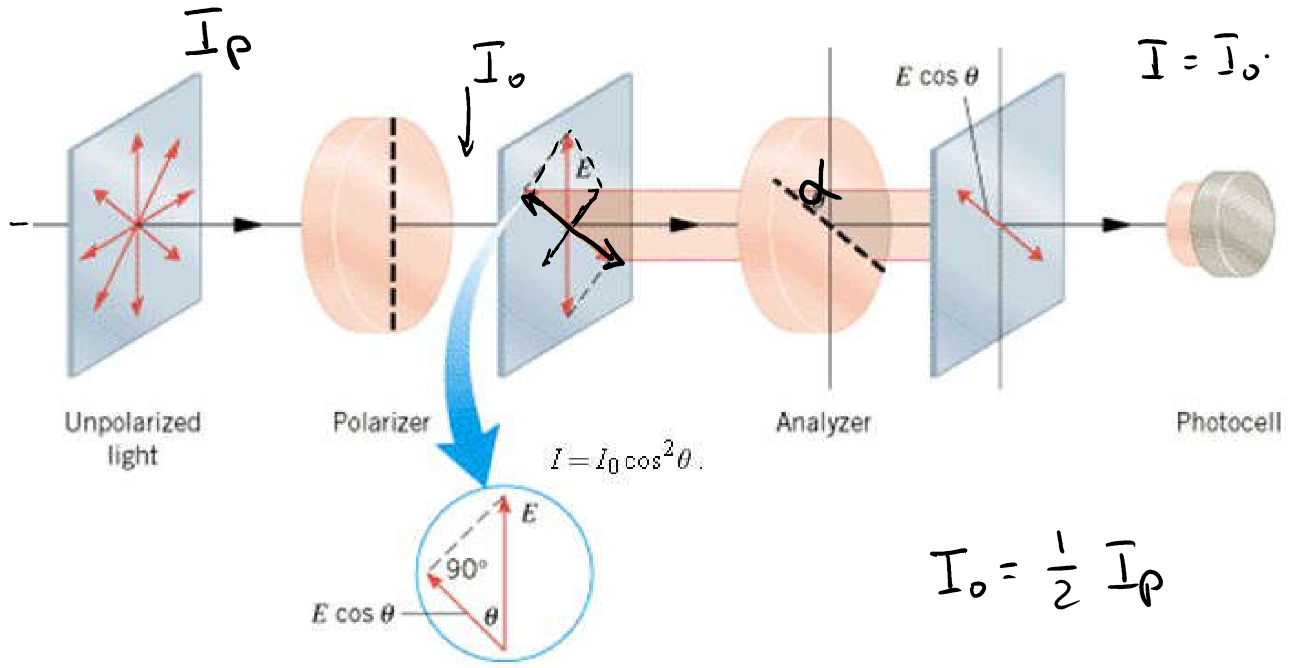
плоскополяризоване

$I_{min} = 0$

$P = 1$

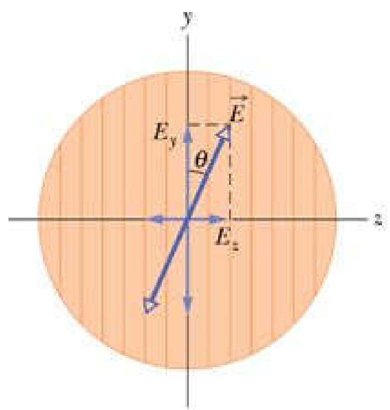
частково-поляризоване $\quad 0 < P < 1$

MALUS' LAW

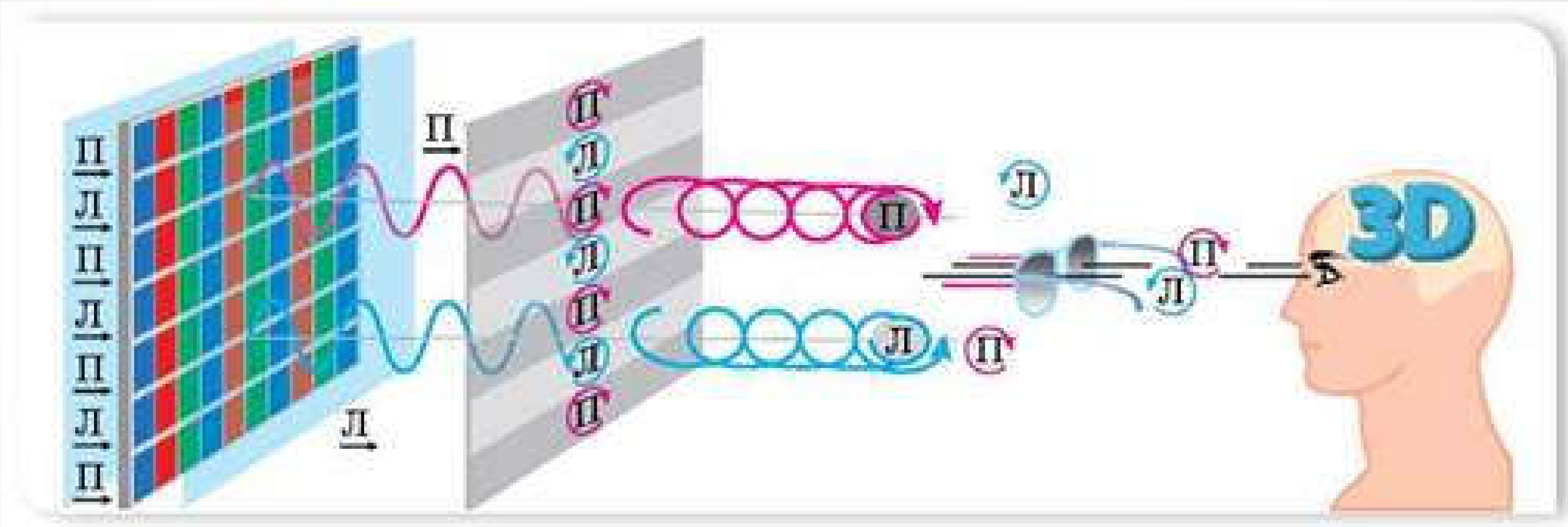


$I = I_0 \cdot \cos^2 \alpha$

$I_0 = \frac{1}{2} I_p$

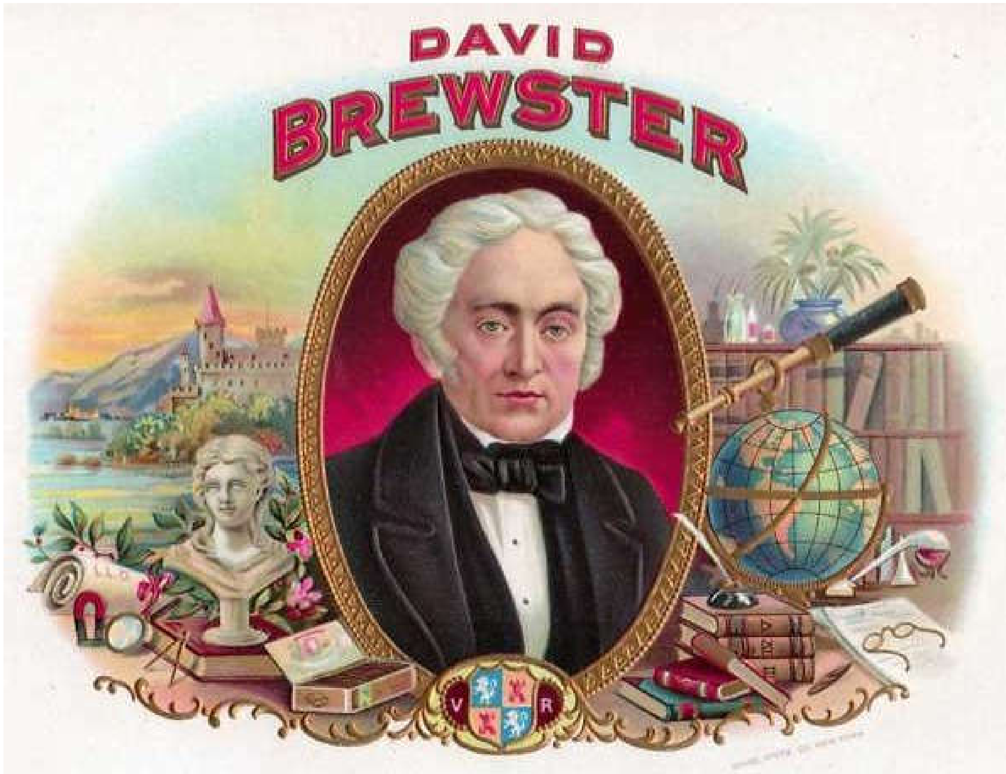


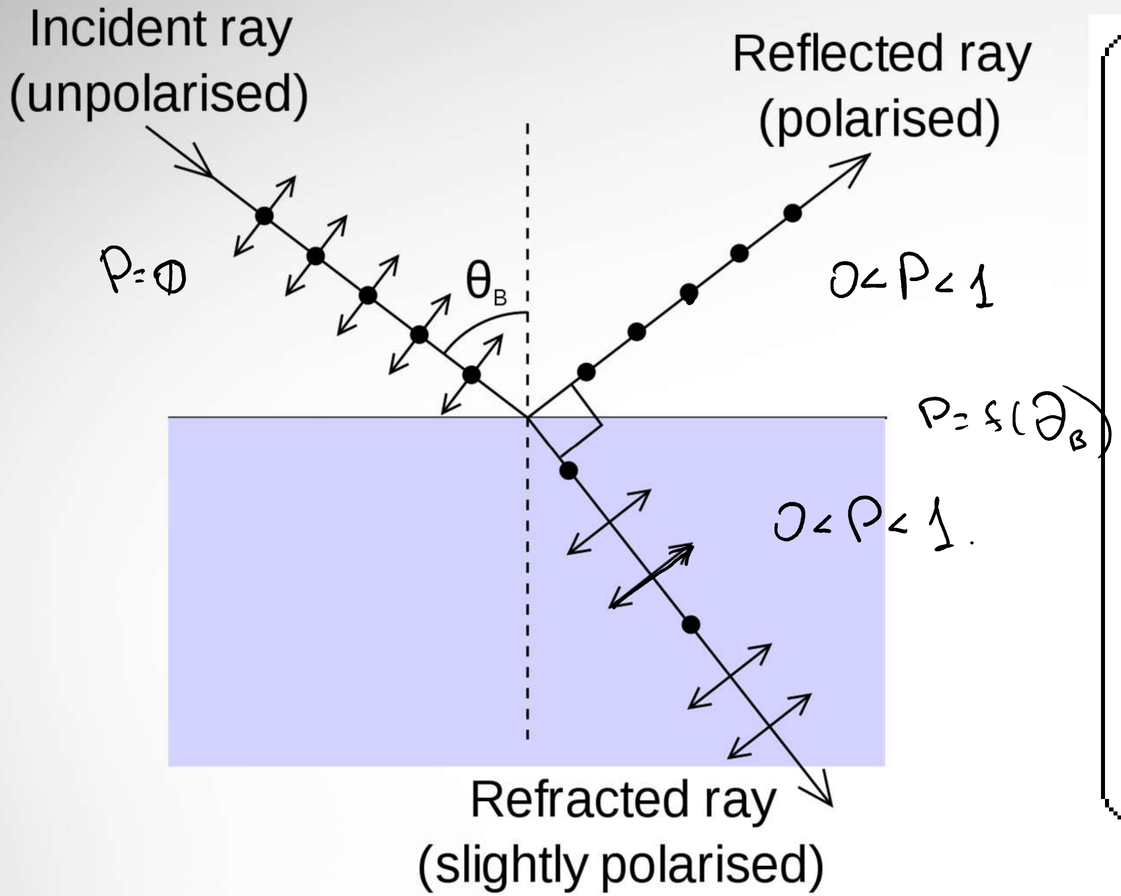
$$\boxed{I = I_0 \cos^2 \alpha}$$

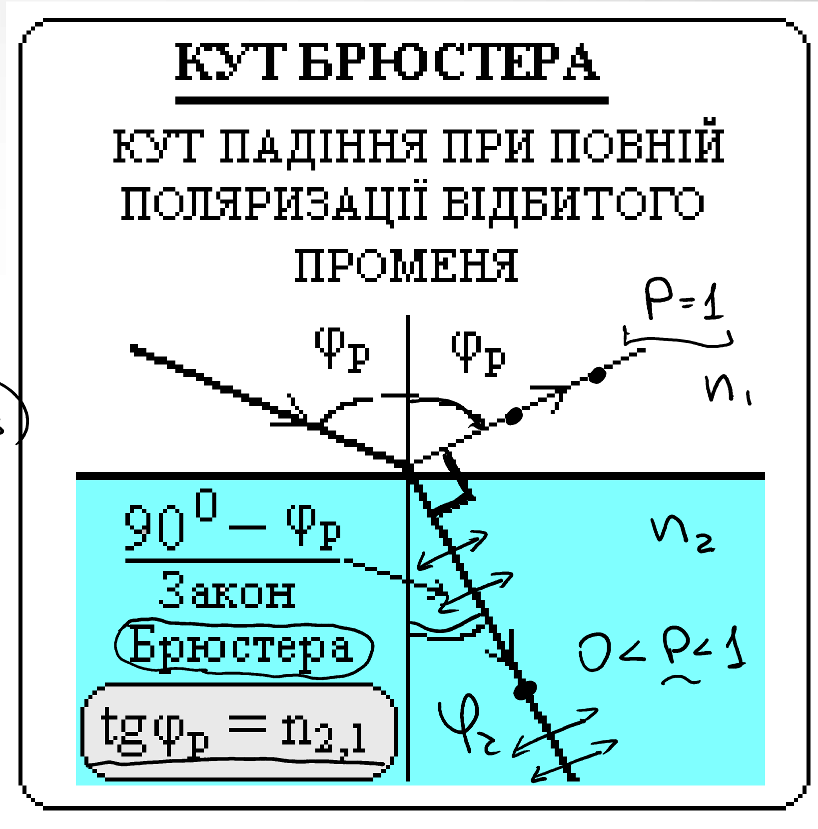


П
Л
П
Л
П
Л
П
П
Л
П
Л
П
Л
П
Л
П
Л
П
П
Л
Л
П
3D

Поляризація при відбиванні та заломленні.



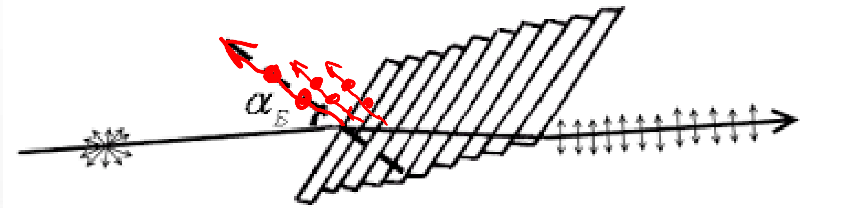




$$\frac{\sin\varphi_p}{\sin\varphi_r} = n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\varphi_p}{\cos\varphi_p}$$

$\sin\varphi_r = \cos\varphi_p$

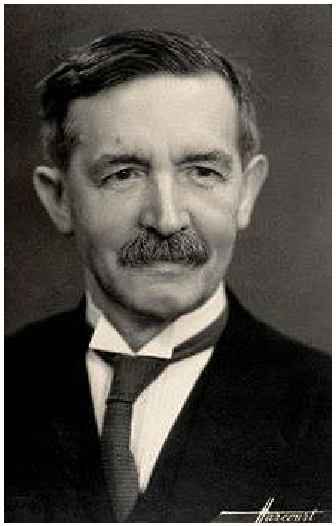
$\varphi_r + \varphi_p = \frac{\pi}{2}$



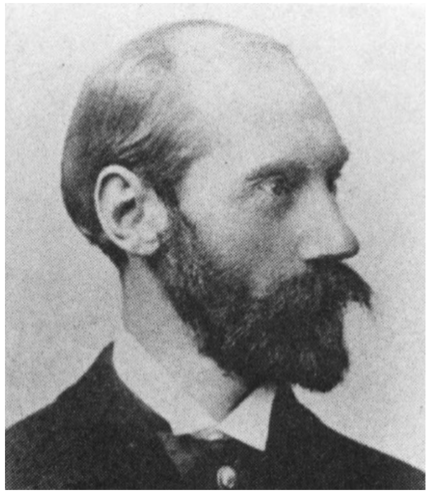
Подвійне променезаломлення

Расмус
Бартолін

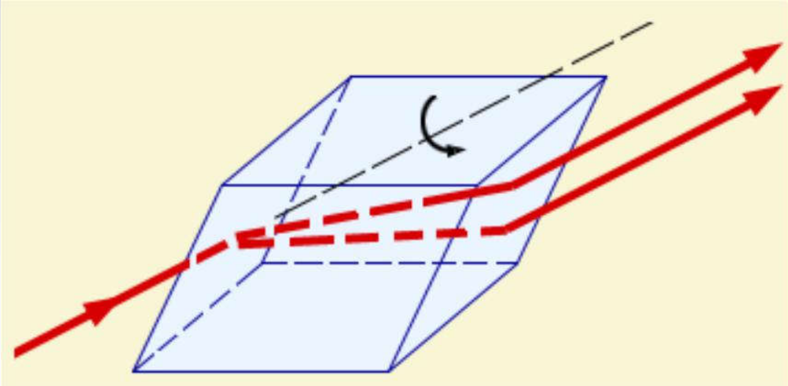
Джон
Керр



Еме Огюст Коттон



Фридрих Карл
Альвин Поккельс



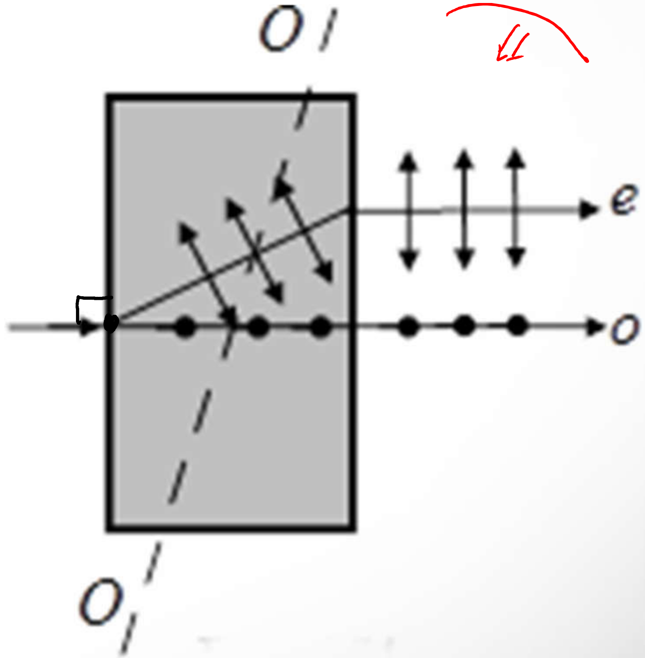
$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta_o} = n_{2,1}$$

звичайний

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta_e} = f(\alpha)$$

незвичайний

Одновісні кристали
(кварц, турмалін, $CaCO_3$)



Двовісні кристали
(слюда, гіпс)

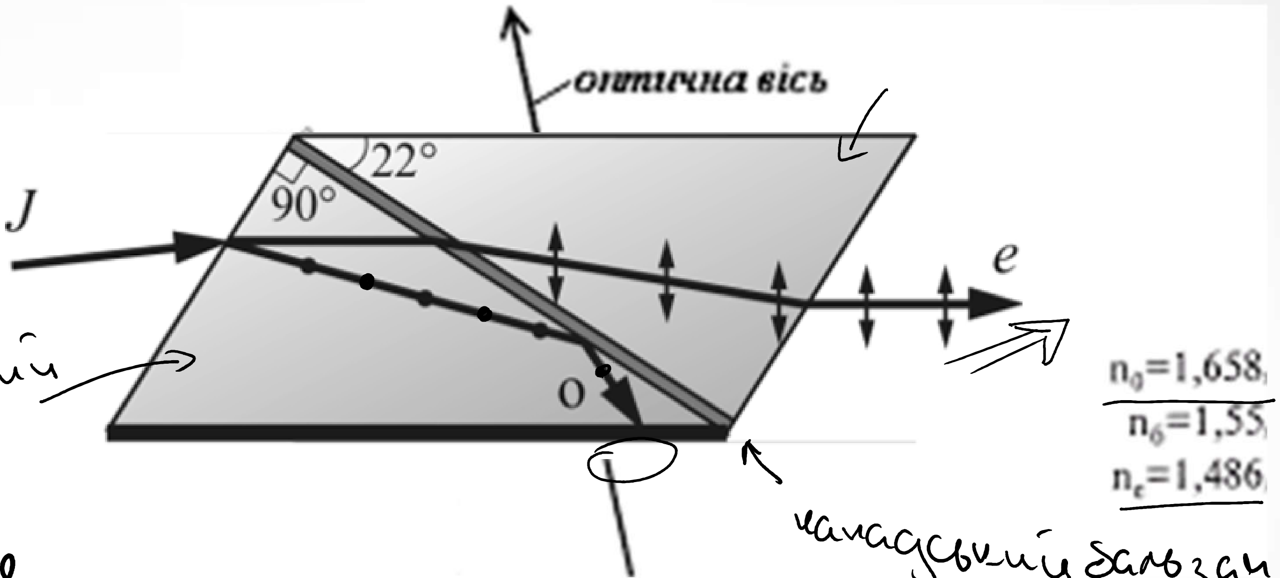
Дихроїзм

о-промінь

турмалін:1мм

поляроїд: 0.1 мм

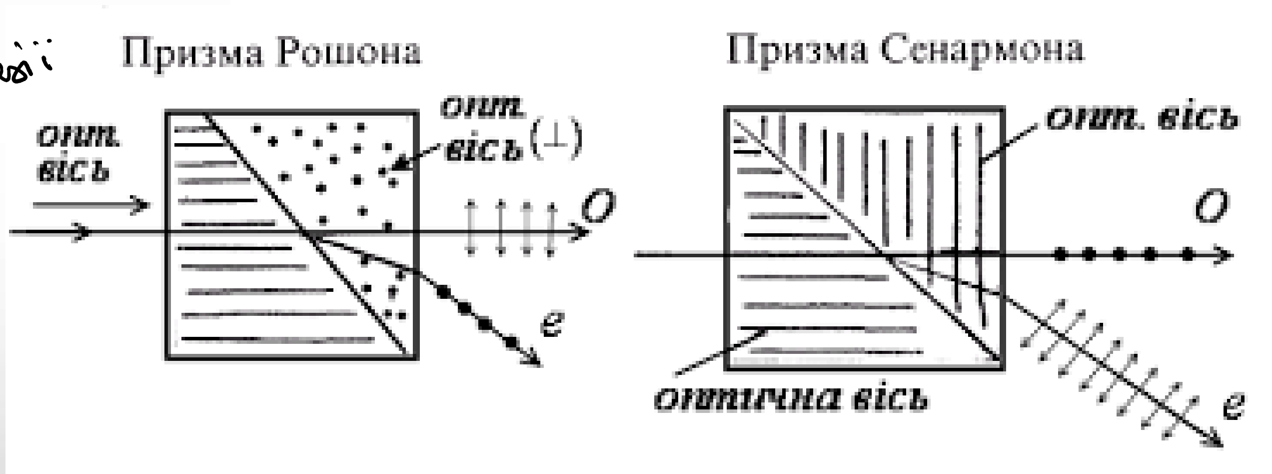
Ніколь



ісландський шпат

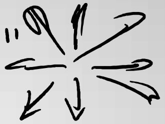
канадський бальзам

швидкість поширення залежить від поляризації



штучне подвійне променезаломлення

"ізотропне"



$n_e = n_o$

мех. деформація

$$\underbrace{n_e - n_0}\ = k_\sigma \cdot \sigma$$

мех. напруга

анізотропне

електричне поле

$$\begin{cases} n_e - n_0 = k_E \cdot E^2 & \textit{еф. Кера} \\ n_e - n_o = k_p E & \textit{еф. Поккельса} \end{cases}$$

тв. тіла
газу
рідини

кристали без центру інверсії

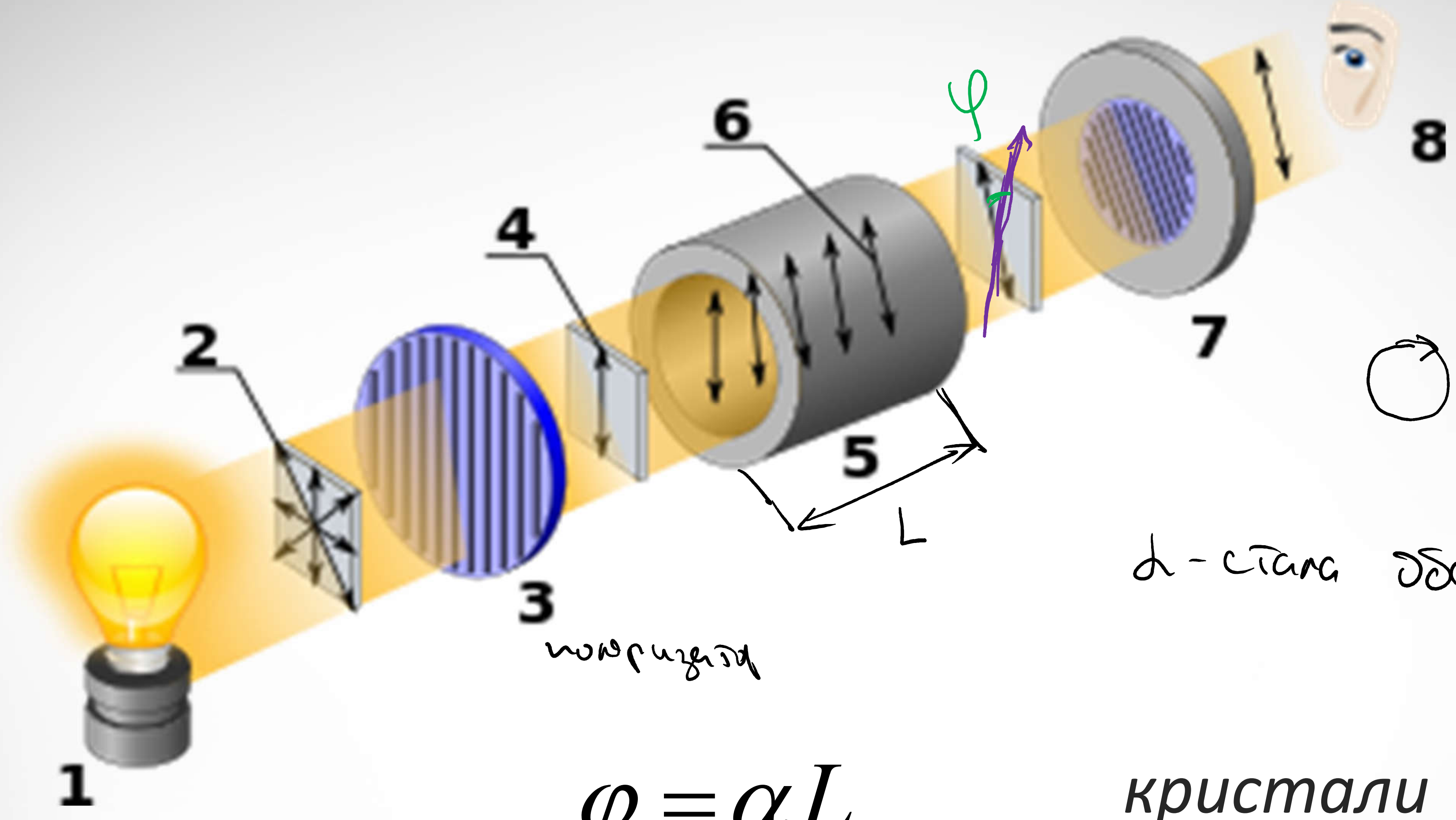
магнітне поле

$$n_e - n_0 = k_H \cdot H^2$$

еф. Коттона-Мутона

Оптична активність

Марсель
Еміль Верде



α - стала обертання

$$\varphi = \underline{\alpha} L$$

кристали

концентрація

$$\varphi = [\alpha] C L$$

розчини

$$\varphi = V H L$$

стала Верде

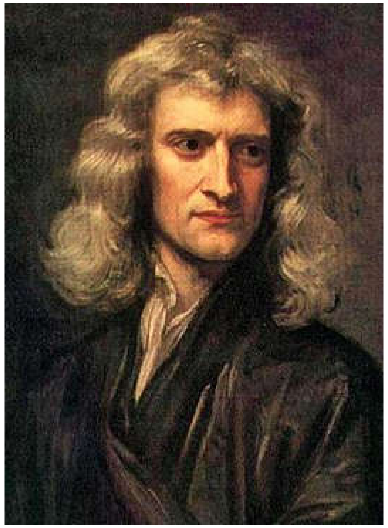
$V(\lambda)$

штучна активність

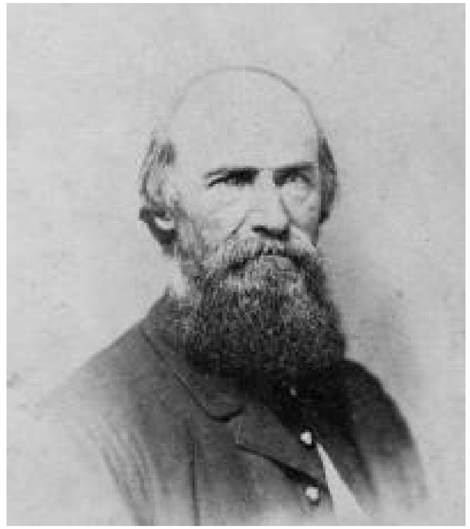
магнітне поле ефект Фарадея

Поглинання світла

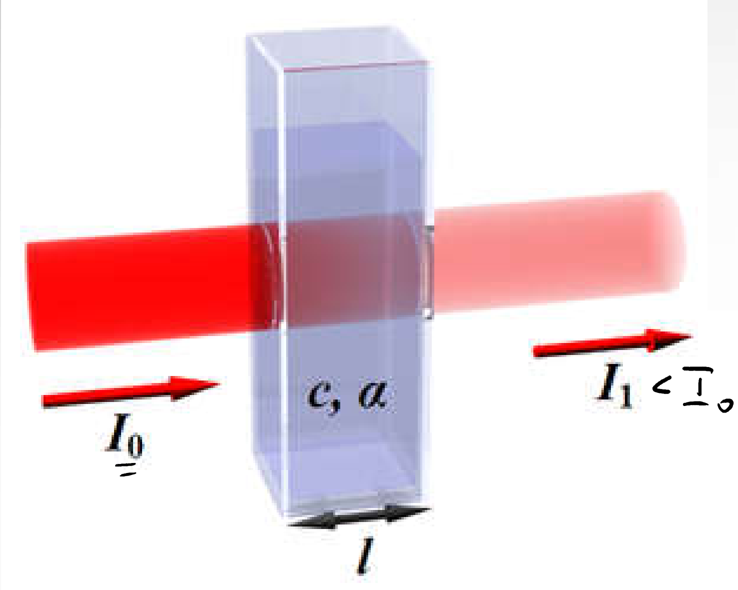
П’єр
Бугер

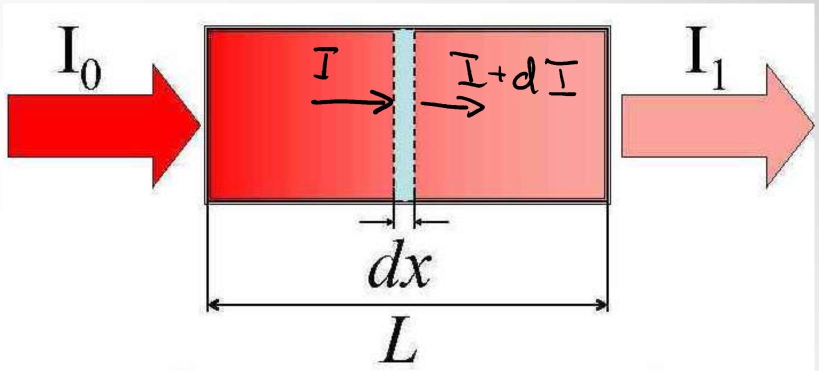


Йоганн Генріх
Ламберт



Август
Бер





$$dI = -\alpha I dx$$

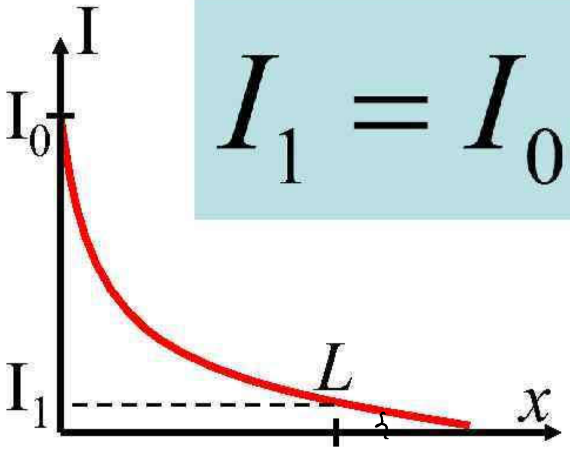
$$dI = -\alpha I dx \Rightarrow dI / I = -\alpha dx$$

$$\int_{I_0}^{I_1} \frac{dI}{I} = -\alpha \int_0^L dx$$

$$\ln(I_1) - \ln(I_0) = -\alpha(L - 0)$$

$$\ln(I_1 / I_0) = -\alpha L \Rightarrow \frac{I_1}{I_0} = e^{-\alpha L}$$

Закон Бугера-Ламберта



$$I_1 = I_0 e^{-\alpha L}$$

α – коеф. поглинання

$[\alpha] = м^{-1}$

$\underbrace{\alpha^{-1}}$ – глибина проникнення

Для розчинів

$\alpha = \alpha(\lambda)$

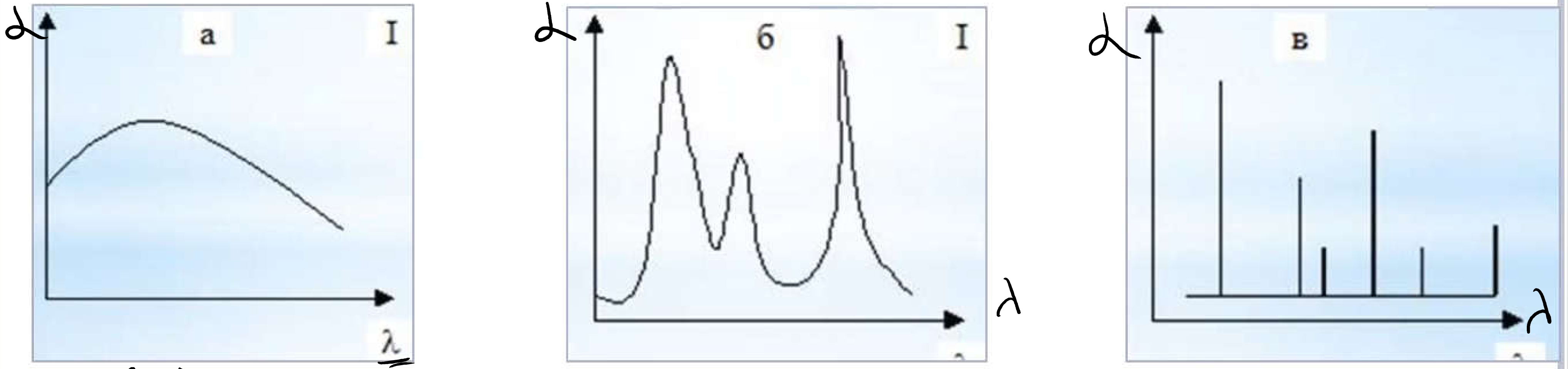
$$\alpha = \alpha_0 C$$

концентрація

Закон Бугера-Ламберта-Бера

$$I_1 = I_0 e^{-\alpha_0 C L}$$

Суцільний **Смугастий** **Лінійчастий**



тв. тіла
рідини.

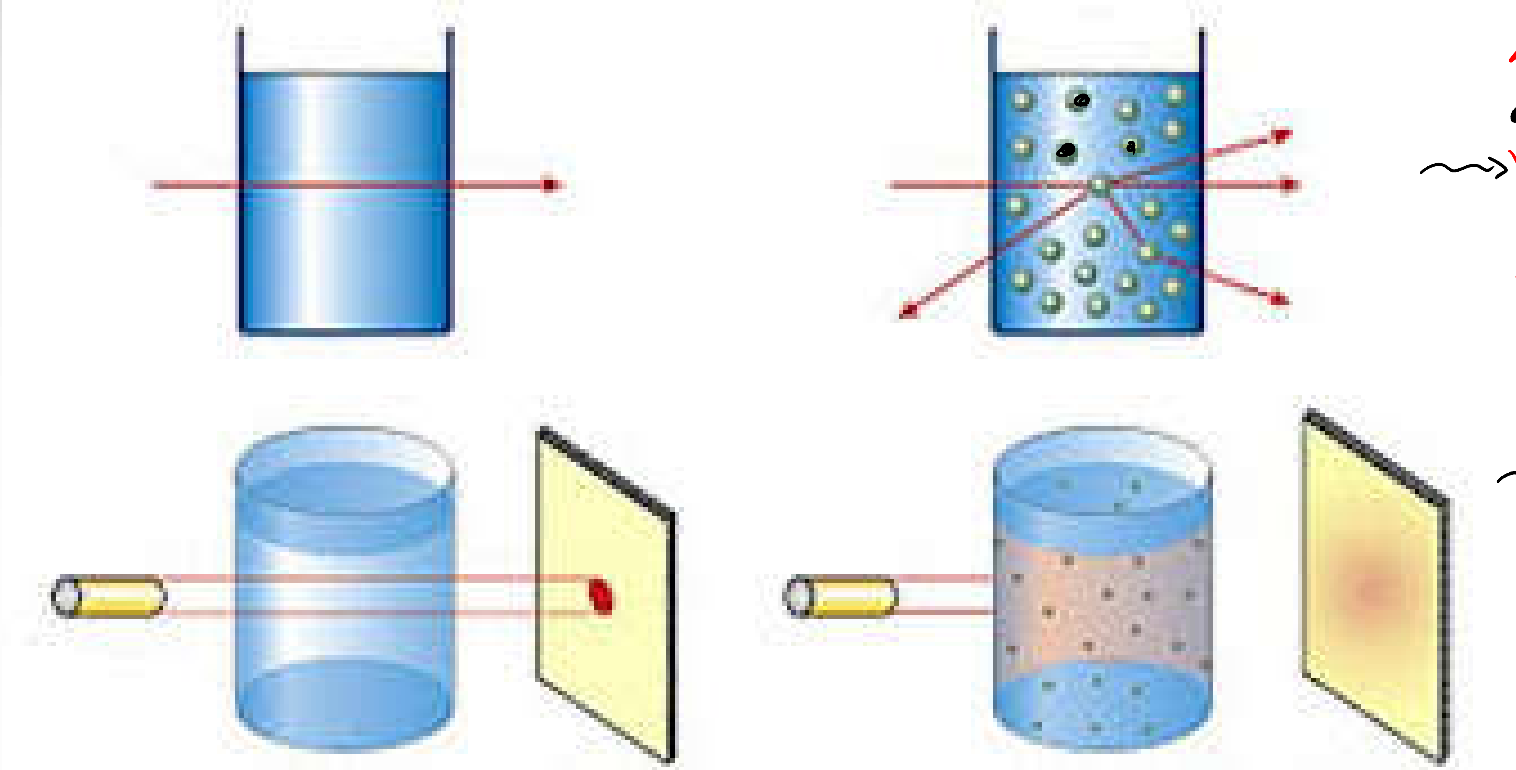
метали $\alpha \sim 10^6\ м^{-1}$

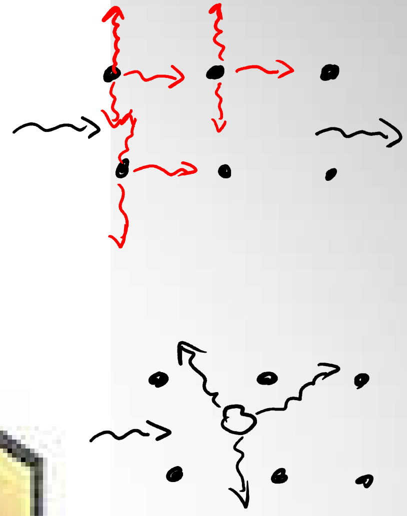
Розсіяння світла

Джон Вільям Стретт (лорд Релей)

Маріан Смолуховський

Леонід Ісаакович Мандельштам





каламутні середовища

$$I = I_0 \exp[-(\alpha + \underline{\alpha'})L]$$

коеф. екстинції

розсіяння Релея $\qquad d \le 0.1\lambda$

$$I_{розс} \sim \omega^4 \sim \frac{1}{\lambda^4}$$

$$I_{розс} \sim V_{частинки}^{\;2} \sim d^6$$

Мандельштам-Смолуховський -> флуктуації густини

$d \sim \lambda \qquad I_{розс} \sim \omega^2 \sim \dfrac{1}{\lambda^2}$