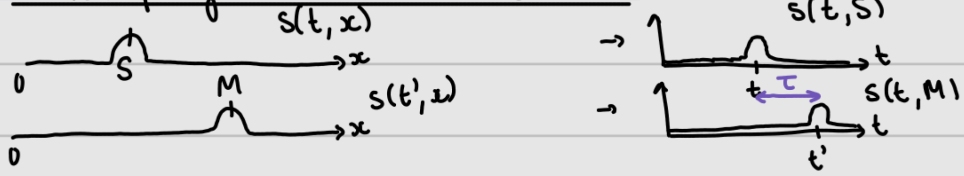
CHAPITRE 1

LES ONDES LUMINEUSES

milieu isotrope ??

1/ Propagation d'une vibration :



τ : retard.

$\tau = \frac{SM}{v}$ ← distance que le signal parcourt ; v ← célérité de propagation du signal

→ Vibration lumineuse au point M :

$s(S, t) = A\cos(\omega t)$

$s(M, t) = A\cos[\omega(t-\tau)]$

$= s(S, t - \frac{SM}{v}) = A\cos(\omega(t - \frac{SM}{v}))$

$= A\cos(\omega(t - \frac{nSM}{c}))$

→ $\boxed{v = \frac{c}{n}}$

2/ Chemin optique :

∗ $\boxed{(SM) = n\,SM = (L)_{SM}}$

Exercice n° 1 :

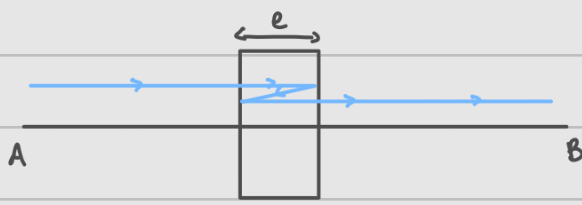
1) $(L)_{AB} = n \times AB = 1 \times d = d$

2) $(L')_{AB} = 1 \times (AB - e) + n \times e = (d-e) + ne = e(n-1) + d$

→ AN : $(L)_{AB} = 5{,}0$ cm

$(L')_{AB} = 1{,}0 \times (1{,}5 - 1) + 5{,}0 = 5{,}5$ cm

3) $(L'')_{AB} = 1 \times (AB - e) + n \times (3e) = d - e + 3ne = e(3n-1) + d$



donc : $\delta = (L'')_{AB} - (L')_{AB}$

$= e(3n-1) + d - (e(n-1) + d)$

$= e(3n - 1 - n + 1)$

$= 2ne.$

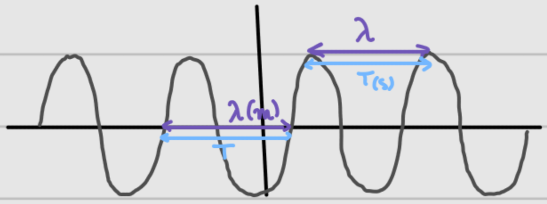
→ AN : $\delta = 2 \times 1{,}5 \times 1{,}0 = 3$ cm

3/ Déphasage entre 2 points :

Sur un même rayon lumineux, deux points M et M' sont en phase si, à tout instant, ils vérifient : $s(M,t) = s(M',t)$ → M' est le point M

et $\frac{ds}{dt}(M,t) = \frac{ds}{dt}(M',t)$ au temps $t+T$ *

Deux points en phase sont donc distants d'un multiple entier de période spatiale λ



* Période temporelle T : $\boxed{T = \frac{2\pi}{\omega}}$

$$s(M,t) = A\cos\left(\omega\left(t - \frac{nSM}{c}\right)\right) = s(M+\lambda, t) = A\cos\left(\omega\left(t - \frac{n(SM+\lambda)}{c}\right)\right)$$

Or : $\omega = \frac{2\pi}{T}$, $A\cos\left(\omega t - \frac{2\pi n SM}{cT}\right) = A\cos\left(\omega t - \frac{2\pi n SM}{cT} - \frac{2\pi n \lambda}{cT}\right)$

Comme $\cos\theta$ a pour période 2π, la période spatiale λ est telle que $\frac{n\lambda}{cT} = 1$.

Cette période spatiale est la longueur d'onde dans le milieu d'indice n :

$\boxed{\lambda = \frac{cT}{n}}$. → longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = cT$

Donc : $s(M,t) = A\cos\left(\omega t - \frac{2\pi n SM}{cT}\right) = A\cos\left(\omega t - \frac{2\pi n SM}{\lambda_0}\right)$

démo : $s(M,t) = A\cos\underbrace{\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda_0}(L)_{SM}\right)}_{\varphi = \text{phase} \equiv \text{angle}}$

$s(M',t) = A\cos\varphi'$ Alors $\varphi = \varphi' + 2k\pi$, $k \in \mathbb{Z}$

⇒ déphasage : $\Delta\varphi = \varphi - \varphi' = 2k\pi$

4/ Déphasage entre 2 points :

* fréquence : $\boxed{f = \frac{1}{T}}$ * longueur d'onde : $\boxed{\lambda = \frac{c}{f}}$

Soient M_1 et M_2 deux points quelconque :

$$s(M_1,t) = A\cos(\omega t - \phi_1) = A\cos\left(\omega t - \frac{2\pi n SM_1}{\lambda_0}\right)$$

$$s(M_2,t) = A\cos(\omega t - \phi_2) = A\cos\left(\omega t - \frac{2\pi SM_2}{\lambda_0}\right)$$

La différence de phase entre deux points vaut:

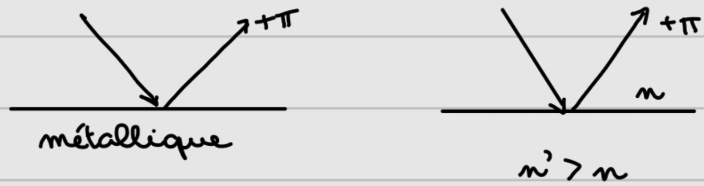
$$\boxed{\phi_2 - \phi_1 = \frac{2\pi}{\lambda_0}\left[(L)_{SM_2} - (L)_{SM_1}\right]}$$

La différence de chemin optique est appelée la différence de marche:

$$\boxed{\phi_2 - \phi_1 = \frac{2\pi}{\lambda_0}\delta}$$

- **Déphasages supplémentaires lors de réflexions:**

La réflexion entraine un déphasage supplémentaire de π si elle se produit
- sur une surface métallique (type miroir)
- sur une surface séparant un milieu incident d'indice n d'un milieu d'indice supérieur $n' > n$.



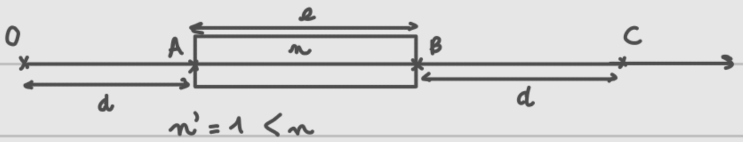
Exercice n° 2:

1) Le déphase est: $\Delta\varphi = \pm \frac{2\pi}{\lambda_0}\delta$ ← différence de marche

$\delta = (L)_{SM} - (L)_{SO} = nL$

$$\Delta\varphi_1 = \frac{2\pi}{\lambda_0} nL$$

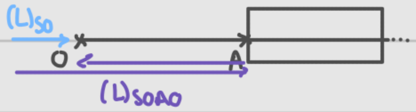
2)



a_ • $\Delta\varphi_a = \varphi_b - \varphi_o = \frac{2\pi}{\lambda_0}(L)_{OB} = \frac{2\pi}{\lambda_0}(d + ne)$

• $\Delta\varphi_a' = \varphi_c - \varphi_o = \frac{2\pi}{\lambda_0}(L)_{OC} = \frac{2\pi}{\lambda_0}(2d + ne)$

b- $\Delta\varphi_b = \varphi_{SOAO} - \varphi_{SO}$



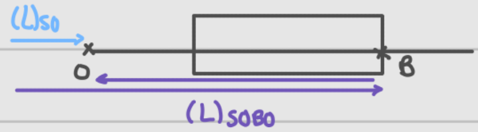
$= \frac{2\pi}{\lambda_0}(L)_{SOAO} - \frac{2\pi}{\lambda_0}(L)_{SO} + \pi$ ← car, au point A le milieu réfléchissant a un indice plus grand que le milieu incident.

$= \frac{2\pi}{\lambda_0}\left((L)_{SOAO} - (L)_{SO}\right) + \pi$

$= \frac{2\pi}{\lambda_0}\left[(L)_{SO} + (L)_{OA} + (L)_{AO} - (L)_{SO}\right] + \pi$

$= \frac{2\pi}{\lambda_0} \times 2d + \pi$

c- $\Delta\varphi_c = \varphi_{SOBO} - \varphi_{SO}$

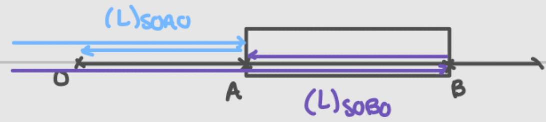


$= \frac{2\pi}{\lambda_0}\left[(L)_{SOBO} - (L)_{SO}\right]$ ← pas "$+\pi$" car, $n_{incident} > n_{réfléchissant}$

$= \frac{2\pi}{\lambda_0}\left[(L)_{OB} + (L)_{BO}\right]$

$= \frac{2\pi}{\lambda_0}(2d + 2ne)$

d- $\Delta\varphi_d = \varphi_{SOBO} - \varphi_{SOAO}$



$= \varphi_{SOBO} - \varphi_{SO} - \varphi_{SOAO} + \varphi_{SO}$

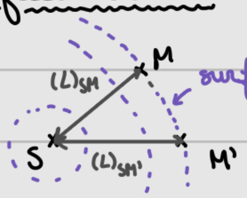
$= \Delta\varphi_c - \Delta\varphi_b$

$= \frac{2\pi}{\lambda_0}\left[2d - 2ne - 2d\right] - \pi$

$= \frac{2\pi}{\lambda_0}(-2ne) - \pi$

5/ Surfaces d'ondes et rayons lumineux :

* Surface d'onde : ensemble des points ayant même phase ($\Delta\varphi = 0$)



⇒ onde sphérique

⇒ $\Delta\varphi_M - \Delta\varphi_{M'} = 0$

$= \cancel{\omega t} - \frac{2\pi}{\lambda_0}(L)_{SM} - \cancel{\omega t} + \frac{2\pi}{\lambda_0}(L)_{SM'}$

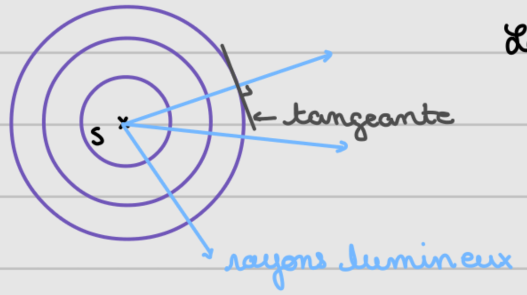
car, $s(t,M) = A\cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda_0}(L)_{SM})$

$$= \frac{2\pi}{\lambda_0}\delta$$

$$(L)_{SM} = (L)_{SM'} \overset{\text{si } \hat{m} \text{ indice}}{\Rightarrow} SM = SM'$$

• Si le rayon de la surface d'onde tend vers ∞ : les surfaces d'onde sont approximatives par des plans. ⇒ ondes planes.

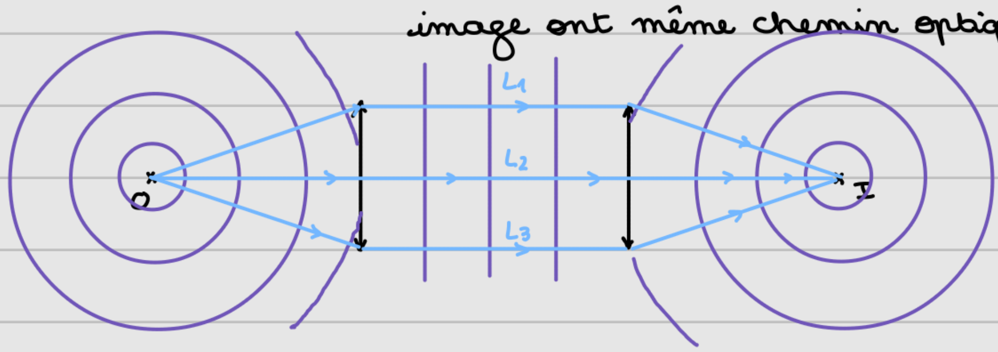
Théorème de Malus :



Les normales aux surface d'onde sont les rayons lumineux.

ex : ondes planes 

→ conséquence : Dans l'approximation de Gauss, les rayons passant par un point objet et convergent en un point image ont même chemin optique



$(L)_1 = (L)_2 + (L)_3$

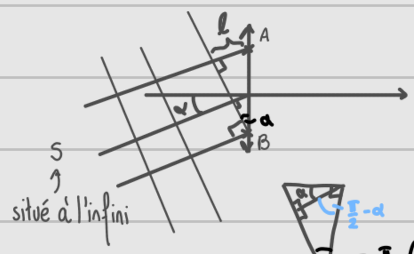
Exercice n°3 :

1) $\delta = (L)_{SA} - (L)_{SB}$

$= (L)_{SB} + \sin(\alpha) AB - (L)_{SB}$

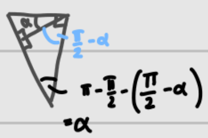
$= \sin(\alpha) \times AB$

$= n \sin(\alpha) \times AB$, si $n = 1$.



$\rightarrow (L)_{SA} = (L)_{SB} + l$

$= (L)_{SB} + \sin(\alpha) \times AB$



2) $(L)_{SAS'} = (L)_{SBS'}$ (d'après Gauss ??)

3) $\delta' = (L)_{AS'} - (L)_{BS'}$

$= (L)_{AS'} - (L)_{BS'} + (L)_{SA} - (L)_{SA} - ((L)_{SB} - (L)_{SB})$

$= \underbrace{(L)_{SAS'} - (L)_{SBS'}}_{=0} - (L)_{SA} + (L)_{SB} = -((L)_{SA} - (L)_{SB}) = -n\sin(\alpha) AB$

6/ Intensité lumineuse :

L'intensité lumineuse, notée "$I(t)$" (dépendante de t) :

$$\boxed{I(t) = k\, s^2(t)}$$

k : facteur de proportionnalité

$\Rightarrow I(t)$ oscille rapidement :

$\rightarrow$ visible : $\sim 10^{15}\ s^{-1}$

Or, les capteurs ont un temps de réponse "τ" $\ggg T$ ($\approx 10^{-15}$ s)

· On mesure la moyenne temporelle $\langle I(t)\rangle_\tau \equiv$ "I". ($\langle\ \rangle_\tau$: symbole moyenne)

$$\rightarrow \langle I(t)\rangle_\tau = \frac{1}{\tau}\int_0^\tau I(t)\,dt$$

Comme $\tau \gg T$, $\tau \approx kT + \varepsilon$

où $\varepsilon \ll T$, $k \in \mathbb{N}$

$$\Rightarrow I = \frac{1}{kT+\varepsilon}\int_0^{kT+\varepsilon} I(t)\,dt$$

$$= \frac{1}{kT}\int_0^{kT} I(t)\,dt \quad \text{car, } \varepsilon \ll 1$$

$$= \frac{1}{kT}\Big[\underbrace{\int_0^T I(t)\,dt + \int_T^{2T} I(t)\,dt + \dots + \int_{(k-1)T}^{kT} I(t)\,dt}_{I(t+pT) = I(t)}\Big]$$

$$= \frac{1}{kT}\Big[k\int_0^T I(t)\,dt\Big] = \frac{1}{T}\int_0^T I(t)\,dt = \frac{1}{T}\int_0^T K s^2(t)\,dt$$

ex : $s(t) = A\cos(\omega t) \iff I = K\langle s^2\rangle_T$ (moyenne de s^2) $\rightarrow \langle s^2\rangle_T = \dfrac{A^2}{T}\displaystyle\int_0^T \cos^2(\omega t)\,dt$

$$= \frac{A^2}{T}\int_0^T \frac{1}{2}\big(1+\cos(2\omega t)\big)\,dt$$

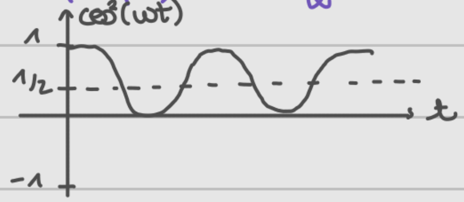
$$= \frac{A^2}{2T}\Big[t + \frac{\sin(2\omega t)}{2\omega}\Big]_0^T$$

$$= \frac{A^2}{2T}\times\Big(T + \underbrace{\frac{\sin(2\omega T)}{2\omega}}_{=0}\Big)$$

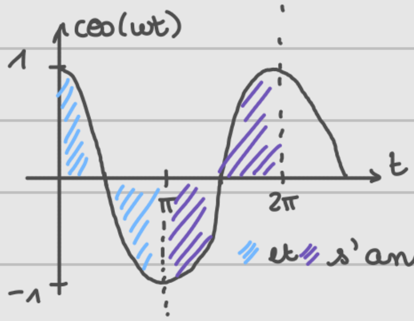
$=0$ car, $2\omega T = 2\times\frac{2\pi}{T}\times T = 4\pi$

$$= \frac{A^2}{2}$$

· $\dfrac{1}{T}\displaystyle\int_0^T \cos^2\Big(\frac{2\pi t}{T}\Big)\,dt = \frac{1}{2}$



· $\displaystyle\int_0^T \cos(\omega t)\,dt = 0$



et s'annulent

Exercice n° 4 :

$$S_1 = A\cos(\omega t) \qquad S_2 = A\cos(\omega t - \Phi)$$

a) • $S_1 + S_2 = A\cos(\omega t) + A\cos(\omega t - \Phi)$

$$= A(\cos(\omega t) + \cos(\omega t - \Phi))$$

$$= A\left(2\cos\left(\frac{\omega t + \omega t - \Phi}{2}\right)\cos\left(\frac{\omega t - \omega t + \Phi}{2}\right)\right)$$

$$= A\left[2\cos\left(\frac{2\omega t - \Phi}{2}\right)\cos\left(\frac{\Phi}{2}\right)\right]$$

$$= A\left[2\cos\left(\omega t - \frac{\Phi}{2}\right)\cos\left(\frac{\Phi}{2}\right)\right]$$

• $\langle s^2 \rangle = \frac{1}{T}\int_0^T s^2 \, dt = \frac{1}{T}\int_0^T A^2 4\cos^2\left(\omega t - \frac{\Phi}{2}\right)\cos^2\left(\frac{\Phi}{2}\right) dt$

$$= \frac{4A^2}{T}\cos^2\left(\frac{\Phi}{2}\right)\underbrace{\int_0^T \cos^2\left(\omega t - \frac{\Phi}{2}\right) dt}_{= \frac{T}{2} \text{ si } \omega = \frac{2\pi}{T}}$$

$$= 2A^2\cos^2\left(\frac{\Phi}{2}\right)$$

b) $s_1^* = Ae^{i\omega t}$ et $s_2^* = Ae^{i(\omega t - \Phi)}$

$$s^* = s_1^* + s_2^* = A\left[e^{i\omega t} + \underbrace{e^{i(\omega t - \Phi)}}_{= e^{i\omega t} e^{-i\Phi}}\right] = Ae^{i\omega t}(1 + e^{-i\Phi})$$

$1 = e^{i\Phi/2} e^{-i\Phi/2}$; $e^{-i\Phi} = e^{-i\Phi/2} e^{-i\Phi/2}$

$$= Ae^{i\omega t} e^{-i\frac{\Phi}{2}}\left(e^{i\Phi/2} + e^{-i\Phi/2}\right)$$

$$= Ae^{i\omega t} e^{-i\frac{\Phi}{2}} \times 2\cos\left(\frac{\Phi}{2}\right)$$

$$= 2Ae^{i(\omega t - \Phi/2)}\cos\left(\frac{\Phi}{2}\right)$$

• $\langle s^* \bar{s^*} \rangle = \langle 2Ae^{i(\omega t - \frac{\Phi}{2})}\cos\left(\frac{\Phi}{2}\right) \times 2Ae^{-i(\omega t - \frac{\Phi}{2})}\cos\left(\frac{\Phi}{2}\right) \rangle$

$$= \langle 4A^2\cos^2\left(\frac{\Phi}{2}\right) \rangle = 4A^2\cos^2\left(\frac{\Phi}{2}\right)$$