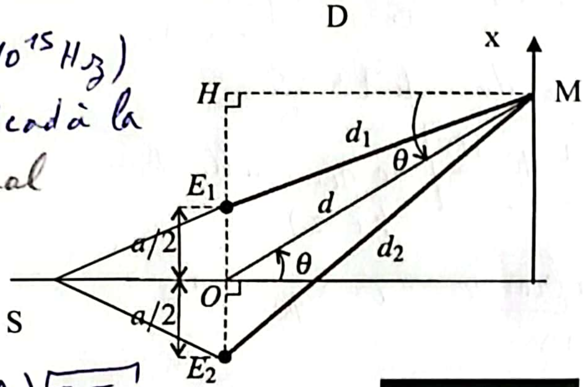
II Interférence entre deux ondes lumineuses de même fréquence : Exemple du dispositif des trous d'Young

1.) Calcul de l'intensité

L'intensité de l'onde lumineuse en un point M, résultant de la superposition de deux ondes d'intensité I_1 et I_2 est donnée par la formule de Fresnel : donnée

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos(\varphi_1 - \varphi_2) \text{ où } \varphi_1 - \varphi_2 = -\frac{2\pi}{\lambda}(d_1 - d_2)$$

http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/optiondu/young.html



Fréquences rencontrées en optique très grandes ($f \simeq 10^{15}$ Hz)

=> Récepteurs : sensibles à l'intensité lumineuse (c-à-d à la valeur moyenne du carré de l'amplitude) du signal

$I(M) = k \langle s^2(t) \rangle$ k facteur de proportionnalité

$I(M) = k \times \frac{1}{T}\int_0^T s^2(t)\,dt$ où $s(t) = A\cos(\omega t + \varphi)$, $\omega = 2\pi f$

$\Rightarrow I(M) = k \times \frac{1}{T}\int_0^T A^2\cos^2(\omega t + \varphi)\,dt$

$I(M) = kA^2 \times \frac{1}{T}\int_0^T \cos^2(\omega t + \varphi)\,dt$

$\boxed{I(M) = kA^2 \times \frac{1}{2}}$

Rq : $\frac{1}{T}\int_0^T \cos^2(\omega t + \varphi)\,dt = \frac{1}{2}$ (cf SE6)

linéariser le cos avec $\cos(2a) = 2\cos^2(a) - 1$

Formule des interférences p.3

$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_1 - \varphi_2)$

$\Rightarrow \frac{k}{2}A^2 = \frac{kA_1^2}{2} + \frac{kA_2^2}{2} + \frac{k}{2} \times 2A_1A_2\cos(\varphi_1 - \varphi_2)$

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

en posant $I_1 = \frac{kA_1^2}{2}$; $I_2 = \frac{kA_2^2}{2}$

$\Rightarrow I_1 I_2 = \frac{kA_1^2 kA_2^2}{4}$

$\sqrt{I_1 I_2} = \frac{kA_1A_2}{2}$

$\Rightarrow kA_1A_2 = 2\sqrt{I_1 I_2}$

Rq : on donne soit la formule des interférences, soit la formule de Fresnel ; il faut aussi savoir passer d'une forme à l'autre

Rq : Si $I_1 = I_2 = I_0$

$I = 2I_0 + 2I_0\cos(\varphi_1 - \varphi_2)$

$\boxed{I = 2I_0(1 + \cos(\varphi_1 - \varphi_2))}$

- Maximum d'intensité : pour $\cos(\varphi_1 - \varphi_2) = +1$

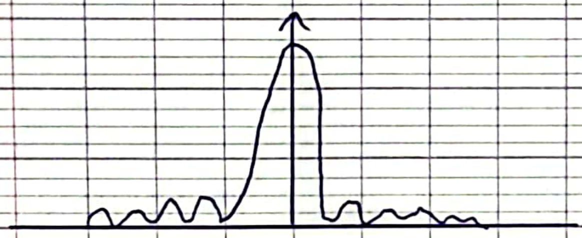
$\Rightarrow \varphi_1 - \varphi_2 = 2p\pi \quad p \in \mathbb{Z}$

or $\begin{cases} \varphi_1 = -kd_1 + \varphi_0 \\ \varphi_2 = -kd_2 + \varphi_0 \end{cases}$ (cf p.2)

$\varphi_1 - \varphi_2 = -k(d_1 - d_2)$ où $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

$\Rightarrow \varphi_1 - \varphi_2 = -\frac{2\pi}{\lambda}(d_1 - d_2)$

Si la fente source est suffisamment étroite, phénomène de diffraction pour une seule fente.



Chaque fente (ou trou) en E_1 et E_2 diffracte de nouveau la lumière. => interférence dans la de regroupement.

(TP) Pour 2 fentes en E_1 et E_2 (fentes d'Young), on voit apparaître les franges d'interférences dans la figure de diffraction.

Pour 2 trous exp. des trous d'Young (figure p. 5)

2) Notion de chemin optique

Rq 2: En optique, on peut faire les calculs avec les amplitudes (et pas les intensités) si on n'indique rien dans l'énoncé.

Rq 3: On peut faire des interférences avec des protons, des électrons, des noyaux d'hélium.

=> Dualité onde-corpuscule : chaque particule peut se comporter comme une onde dans certaines situations. On peut obtenir des interférences en envoyant des protons 1 par 1.

6 $\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{2\pi}{\lambda}(d_2 - d_1)$

Donc $\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{2\pi}{\lambda}(d_2 - d_1) = 2\pi p$

$\Rightarrow d_2 - d_1 = p\lambda$ où $p \in \mathbb{Z}$

Interférences constructives:

① $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}$
$I = (\sqrt{I_1} + \sqrt{I_2})^2$

Rq: si $I_1 = I_2 = I_0$
$\rightarrow I = 4I_0$

On a trouvé (I.3) pour la m configuration que $d_2 - d_1 \simeq \frac{ax}{D}$ si $a \ll D$, $x \ll D$

d'où $d_2 - d_1 = p\lambda \simeq \frac{ax}{D}$

$\Rightarrow \boxed{x \simeq p\frac{\lambda D}{a}}$ franges brillantes ($p \in \mathbb{Z}$)

Interfrange : $i = x_{p+1} - x_p$

$i \simeq \frac{\lambda D}{a}$

- Minimum d'intensité $[\cos(\varphi_1 - \varphi_2) = -1]$

$\Rightarrow \varphi_1 - \varphi_2 = \pi + 2p\pi$ $p \in \mathbb{Z}$

Ondes en opposition de phase

Or $\varphi_1 - \varphi_2 = +\frac{2\pi}{\lambda}(d_2 - d_1) = \pi + 2p\pi$

$\Rightarrow d_2 - d_1 = \frac{\lambda}{2} + 2p\frac{\lambda}{2}$

$\Rightarrow d_2 - d_1 = \frac{\lambda}{2} + p\lambda$

Interférences destructives

① $I = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2}$
$I = (\sqrt{I_1} - \sqrt{I_2})^2$

Rq: Pour $I_1 = I_2 = I_0$

② $\rightarrow I = 0$

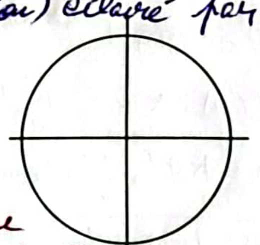
$a \ll D$, $x \ll$ $d_2 - d_1 = \frac{\lambda}{2} + p\lambda \simeq \frac{ax}{D}$

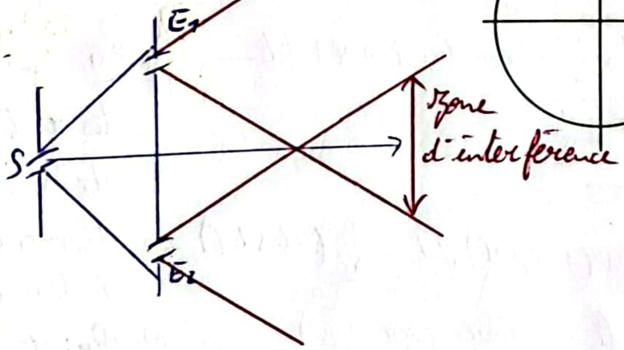
$\Rightarrow x \simeq \frac{\lambda D}{2a} + p\frac{\lambda D}{a}$ franges sombres

i, l'interfrange, est la distance entre 2 franges brillantes, ou 2 franges sombres

Rq importante: Réalisation pratique

Pour obtenir des interférences en optique, les 2 sources doivent être cohérentes ⇒ on utilise une seule source (primaire) que l'on divise en 2 au point S, fente (ou trou) éclairé par une source lumineuse.





2.) Notion de chemin optique

$\delta(M)$ est la différence de chemin optique, c'est-à-dire la différence entre les longueurs totales des trajets suivis par la lumière entre S et M, multipliée par l'indice optique n du milieu traversé.

$\delta(M) = n(SE_2 + E_2M) - n(SE_1 + E_1M) = n(E_2M - E_1M) = n(d_2 - d_1) \approx n\frac{ax}{D}$ si a << D et x << D

$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{2\pi}{\lambda_0}\delta(M)$

S est sur la médiatrice de E_1E_2

$\Rightarrow SE_1 = SE_2$ $d_1 = E_1M$ $d_2 = E_2M$

$\Rightarrow \delta(M) = n(d_2 - d_1) \simeq n\frac{ax}{D}$

$\varphi_1 - \varphi_2 = -k(d_2 - d_1)$
$= \frac{2\pi}{\lambda}(d_2 - d_1)$
$= 2\pi \times n(d_2 - d_1) : \lambda_m$

$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$ ← longueur d'onde dans le vide
← indice optique

L'interfrange correspond à la distance entre deux franges brillantes successives : $i = \frac{\lambda D}{a}$ où $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$