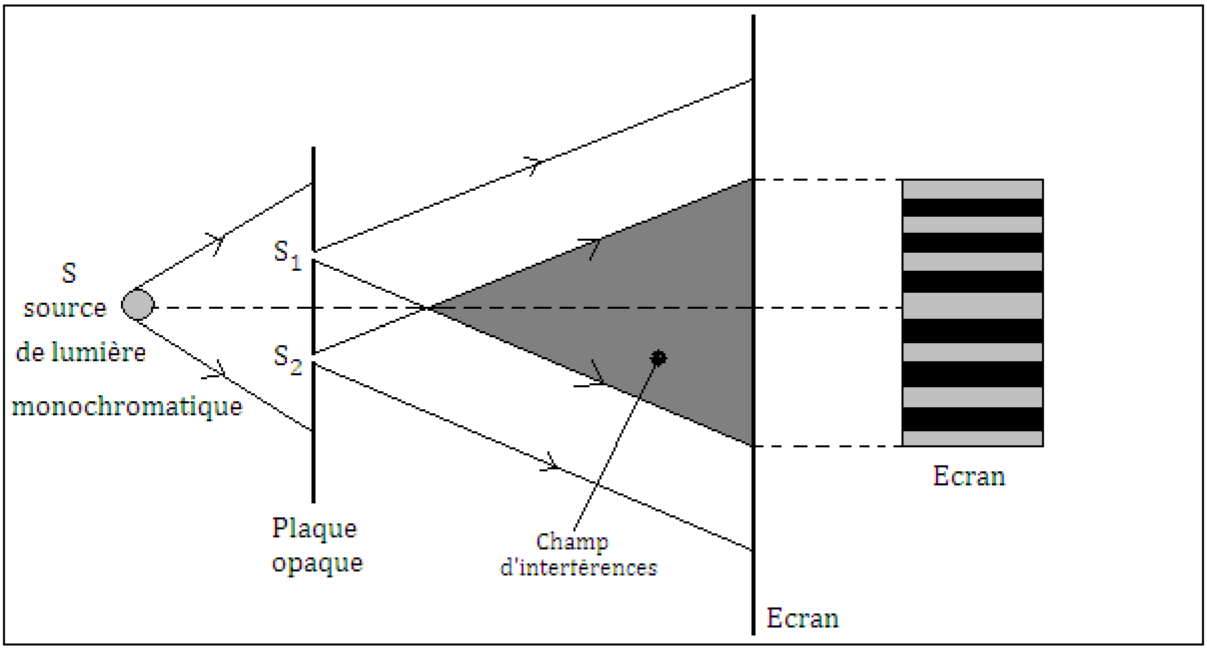
Interférences lumineuses

I. Etude expérimentale :

I.1 Expérience de Thomas Young (1801) :



I.2 Observations :

Sur la partie de l'écran correspondant à la zone de superposition, on observe des raies fines, équidistantes et alternativement brillantes et obscures appelées franges d'interférences avec une frange centrale brillante.

Remarque : lorsqu'on occulte l'une des fentes, les franges d'interférences disparaissent mais les figures de diffraction de l'autre fente demeurent avec des taches moins brillantes.

I.3 Interprétation théorique :

L'étude des interférences mécaniques a montré a que la superposition de deux ondes mécaniques issues de deux sources synchrones en mouvement rectiligne sinusoïdal et de même amplitude produit des crêtes et des creux de forme hyperbolique appelées franges d'interférences.

L'observation des franges d'interférences lumineuses résultant de la superposition de deux sources de lumières identiques et monochromatiques conduit à penser, par analogie, que la lumière se comporte comme une onde.

Par conséquent, l'interférence lumineuse constitue ainsi une preuve de la nature (phénomène, caractère ou modèle) ondulatoire de la lumière.

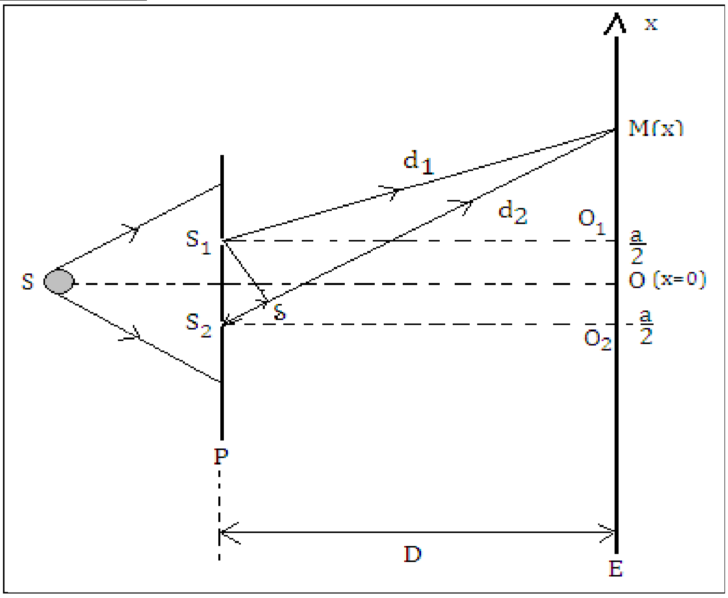
Une onde lumineuse se propage dans le vide suivant un mouvement rectiligne sinusoïdal à la célérité $c = 3.10^8 m.s^{-1}$, de période temporelle T à laquelle est associée une longueur d'onde λ appelée période spatiale et de fréquence υ.

$$\boxed{C = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow \lambda = C.T = \frac{C}{\upsilon}} \quad \text{avec} \quad T = \frac{1}{\upsilon}$$

Une lumiuère monochromatique ne contient qu'une seule radiation de longueur d'onde λ bien définie.

II. Etude analytique :

II.1 Différence de marche :



La différence des trajets lumineux S₁M et S₂M est appelée différence de marche notée δ :

$$\boxed{\delta = d_2 - d_1}$$

II.1.1 Expression de δ en fonction de λ :

L'onde lumineuse issue de la source S_1 d'équation $y_1 = y_m \sin \omega t$ arrive en M avec un retard $t_1 = \dfrac{d_1}{C}$

Au point M : $y_1 = y_m \sin\left(\omega(t - t_1)\right) = y_m \sin\left(\omega(t - \dfrac{d_1}{C})\right)$;

L'onde lumineuse issue de la source S_2 d'équation $y_2 = y_m \sin \omega t$ arrive en M avec un retard $t_2 = \dfrac{d_2}{C}$

Au point M : $y_2 = y_m \sin\left(\omega(t - t_2)\right) = y_m \sin\left(\omega(t - \dfrac{d_2}{C})\right)$

En M les deux ondes se superposent et l'onde résultante est :

$$y = y_1 + y_2 = y_m \left[\sin\left(\omega t - \omega \frac{d_1}{C}\right) + \sin\left(\omega t - \omega \frac{d_1}{C})\right) \right]$$

Comme $\dfrac{\omega}{C} = \dfrac{2\pi}{CT} = \dfrac{2\pi}{\lambda}$ alors $y = y_m \left[\sin\left(\omega t - \dfrac{2\pi d_1}{\lambda}\right) + \sin\left(\omega t - \dfrac{2\pi d_2}{\lambda})\right) \right]$

A l'aide de formule de transformation trigonométrique, on obtient :

$$y = 2 y_m \cos\left(\frac{\pi}{\lambda}(d_2 - d_1)\right) \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{\lambda}(d_1 + d_2)\right)$$

L'amplitude de l'onde résultante est : $A = 2 y_m \cos\left(\dfrac{\pi}{\lambda}(d_2 - d_1)\right) = 2 y_m \cos\left(\dfrac{\pi}{\lambda}\delta\right)$

- Si les deux ondes interférant au point M arrivent en phase, l'amplitude de l'onde résultante est maximale :

$$\cos\left(\frac{\pi}{\lambda}\delta\right) = \pm 1 \qquad \Rightarrow \frac{\pi}{\lambda}\delta = k\pi \qquad \Rightarrow \qquad \boxed{\delta = k\lambda} \qquad \text{avec} \quad k \in \mathbb{Z}$$

L'nterférence des ondes est dites constructive et le point M appartient à une frange brillante.

- Si les deux ondes interférant au point M arrivent en opposition de phase, l'amplitude de l'onde résultante est nulle :

$$\cos\left(\frac{\pi}{\lambda}\delta\right) = 0 \qquad \Rightarrow \frac{\pi}{\lambda}\delta = \frac{\pi}{2} + k\pi \qquad \Rightarrow \qquad \boxed{\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda} \qquad \text{avec} \quad k \in \mathbb{Z}$$

L'nterférence des ondes est dites destructive et le point M appartient à une frange obscure.

II.1.2 Expression de δ en fonction de a, x et D :

Conditions expérimentales : $1m \le D \le 2m$; $a \approx 1mm$; $d_1 \approx d_2 \approx D \Rightarrow d_1 + d_2 \approx 2D$

S_1O_1M triangle rectangle en O1 : $d_1^2 = D^2 + \left(x - \frac{a}{2}\right)^2$

S_2O_2M triangle rectangle en O2 : $d_2^2 = D^2 + \left(x + \frac{a}{2}\right)^2$

$$d_2^2 - d_1^2 = \left[D^2 + \left(x + \frac{a}{2}\right)^2\right] - \left[D^2 + \left(x - \frac{a}{2}\right)^2\right] \Rightarrow (d_1 - d_2)(d_1 + d_2) = \left(x + \frac{a}{2} + x - \frac{a}{2}\right)\left(x + \frac{a}{2} - x + \frac{a}{2}\right) = 2ax$$

$$\Rightarrow 2D\delta = 2ax \quad \Rightarrow \quad \boxed{\delta = \frac{a\,x}{D}}$$

II.2 Position des franges :

- ***Franges brillantes :***

$$\delta = k\lambda = \frac{ax}{D} \Rightarrow \quad \boxed{x_k = k\frac{\lambda D}{a}} \quad \text{avec} \quad k \in \mathbb{Z}$$

- ***Franges obscures :***

$$\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda = \frac{ax}{D} \Rightarrow \quad \boxed{x_k = \left(k + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda D}{a}} \quad \text{avec} \quad k \in \mathbb{Z}$$

II.2 Interfrange i :

L'interfrange i est la distance séparant les milieux de deux franges consécutives et de même nature.

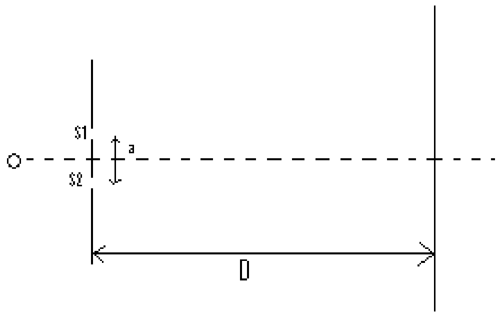
Pour des franges brillantes : $i = x_{k+1} - x_k = (k + 1 - k)\frac{\lambda D}{a} = \frac{\lambda D}{a}$

Pour des franges obscures : $i = x_{k+1} - x_k = \left(k + \frac{3}{2} - k - \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda D}{a} = \frac{\lambda D}{a}$

$$\boxed{i = \frac{\lambda D}{a}}$$

Exercice d'application :

Le dispositif interférentiel de Young représenté ci-contre permet d'obtenir deux sources lumineuses ponctuelles S_1 et S_2 synchrones et cohérentes par dédoublement d'une source unique S. Les deux sources S_1 et S_2 sont distantes de a = 1mm. Le plan (P) de l'écran d'observation, parallèle à S_1S_2 est situé à la distance D = 1m du milieu I de S_1S_2.



La source S émet une radiation monochromatique de longueur d'onde λ.

1. Décrire ce que l'on observe sur l'écran (P). Quel caractère de la lumière est ainsi mis en évidence ?

2. Calculer la longueur d'onde λ sachant que l'interfrange vaut i = 0,579mm.

3. Calculer la distance sur l'écran qui sépare les deux milieux des 4ème franges claires de part et d'autre de la frange centrale.

III. Interférences en lumière blanche :

La dipersion de la lumière blanche par un prisme montre qu'elle est le résultat de la superposition de pluisieures couleurs. C'est une lumière polychromatique.

- ***<u>lumière polychromatique :</u>***

Une lumière polychromatique est constituée d'un grand nombre de radiations de longueurs d'onde différentes.

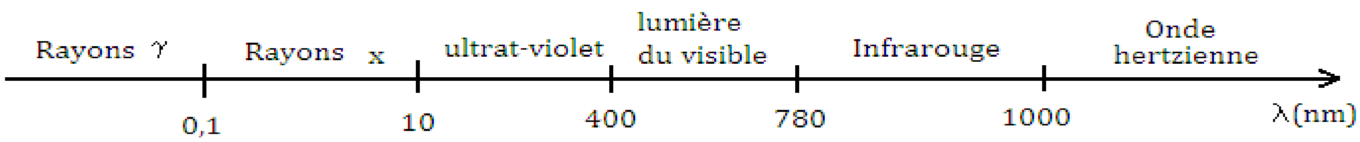
- ***<u>Figures d'interférences observées :</u>***

Lorsqu'on remplace la lumière monochromatique par une lumière blanche dans l'expérience de Young, onobserve :

- Au centre une frange brillante blanche ;
- De part et d'autre de la frange centrale, des franges brillantes irisées (couleur de l'arc-en-ciel);
- Plus loin, une coloration blanchâtre appelée blanc d'ordre supérieur.

- ***<u>Spectre électromagnétique de la lumière :</u>***

Les ondes lumineuses appartiennent à un ensemble d'ondes ayant les mêmes propriètés appelées ondes électromagnétiques.



<u>IV. Conditions d'obtention des figures d'interférences :</u>

Pour observer des figures d'interférences lumineuses, les deux faisceaux lumineux émis par les deux sources doivent être mutuellement cohérentes et synchrones.

- ***<u>Sources cohérentes :</u>*** Sources qui présentent un déphasage constant.
- ***<u>Sources synchrones :</u>*** sources qui émettent avec la même fréquence et sur la même longueur d'onde.

<u>V. Quelques applications d'interférences lumineuses :</u>

Spectroscopie ;Interférométrie ; Hologramme…