Interférences de deux ondes lumineuses

L'expérience de Young

Une source lumineuse monochromatique éclaire un plateau percé de deux fentes verticales et parallèles l'une de l'autre. L'image est ensuite projetée sur un écran.

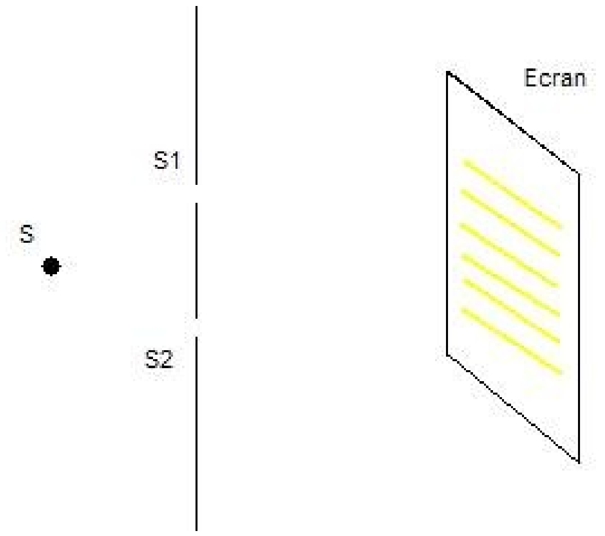

Schéma de principe des fentes de Young

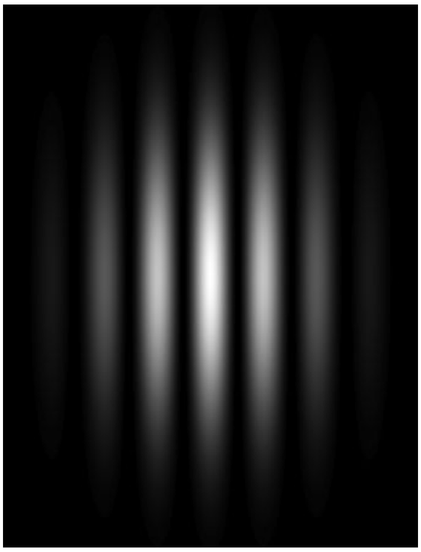

Image obtenue sur l'écran

Il y a plusieurs franges lumineuses verticales, régulièrement espacées. Cette expérience s'explique dans la cadre du modèle ondulatoire.

Superposition de deux ondes lumineuses

On assimile les fentes à des sources lumineuses secondaires, notées S_1 et S_2. Ces deux sources sont monochromatique et vibrent à la même fréquence (synchrones).
Un point *M* de l'écran reçoit les deux ondes, le champ électrique qui en résulte est égal à la somme

$$E(M,t)=E_1(M,t)+E_2(M,t) \quad .$$

Pour atteindre le point *M*, les deux faisceaux parcourent dans le vide respectivement les chemins optiques $\delta_1=d_1$ et $\delta_2=d_2$. Donc

$$E_1(M,t)=E_{1x}\cos\left(\omega t-2\pi\frac{d_1}{\lambda}\right) \qquad \text{et} \qquad E_2(M,t)=E_{2x}\cos\left(\omega t-2\pi\frac{d_2}{\lambda}\right) \quad .$$

L'intensité lumineuse est égale au carré de l'amplitude du champ électrique. Les calculs débouchent sur le résultat suivant :

$$I(M)=E_{1x}^2+E_{2x}^2+2E_{1x}E_{2x}\cos\left(2\pi\frac{\delta}{\lambda}\right) \quad .$$

Le terme $\delta=d_2-d_1$ est appelé **différence de marche**. Si l'indice optique du milieu est n :

$$\boxed{\delta=n(d_2-d_1)}$$

- L'interférence est **constructive**, si δ est égale à un nombre entier de fois la longueur de l'onde, dans ce cas $\cos\left(2\pi\frac{\delta}{\lambda}\right)=1$:

$$\boxed{\text{interférence } \textbf{constructive} \quad \Leftrightarrow \quad \delta=k\lambda \quad \text{où} \quad k\in\mathbb{Z}}$$

- Elle est **destructive** si δ est égale à un nombre entier de fois la longueur d'onde plus une demi-longueur d'onde, alors $\cos\left(2\pi\frac{\delta}{\lambda}\right)=-1$:

$$\boxed{\text{interférence } \textbf{destructive} \quad \Leftrightarrow \quad \delta=k\lambda+\frac{\lambda}{2}=\lambda\left(k+\frac{1}{2}\right) \quad \text{où} \quad k\in\mathbb{Z}}$$

On définit l'**ordre d'interférence**, noté p, comme le rapport entre la différence de chemin optique et la longueur d'onde :

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

L'interférence est **constructive** si p est un nombre **entier**, elle est **destructive** si p est un nombre **demi-entier**.

On appelle **interfrange** la distance séparant deux franges lumineuses successives.

Contraste de la figure d'interférence

Le contraste C est la différence de luminosité entre les franges sombres et lumineuses.

Il est défini :

$$C=\frac{I_{max}-I_{min}}{I_{max}+I_{min}} .$$

L'intensité est maximale lorsque $\cos\left(2\pi\frac{\delta}{\lambda}\right)=1$, elle est minimale lorsque $\cos\left(2\pi\frac{\delta}{\lambda}\right)=-1$:

$$\boxed{I_{max}=E_{1x}^2+E_{2x}^2+2E_{1x}E_{2x} \qquad I_{min}=E_{1x}^2+E_{2x}^2-2E_{1x}E_{2x} \qquad \text{donc} \qquad C=2\frac{E_{1x}E_{2x}}{E_{1x}^2+E_{2x}^2}}$$

Si $E_{1x}=E_{2x}$, alors le contraste est maximale : $C_{max}=1$.

Il diminue si l'écart entre E_{1x} et E_{2x} augmente.

Pour obtenir une figure d'interférence avec un contraste maximum, les deux faisceaux doivent avoir la même intensité.

Exercices

Ex 1 : Franges d'Young – Étude quantitative

Deux fentes très fines verticales, situées en S_1 *et* S_2 *sont éclairées par la même source de lumière monochromatique de longueur d'onde* $\lambda = 580\,nm$.
Les deux fentes sont distantes de $2a = 0{,}1\,mm$ *. On observe la figure d'interférence sur une écran situé à une distance* $D = 3\,m$ *des deux fentes.*

1. Calculer la différence de marche δ entre les deux faisceaux convergents en un point M placé à une hauteur x du centre de l'écran.
2. *L'écran est très éloigné des deux fentes*. En effectuant un développement limité au 1er ordre de l'expression obtenue à la question 1, montrer que : $\delta = \dfrac{2ax}{D}$.
3. Quel est la valeur de l'ordre d'interférence au centre de l'écran.
4. Calculer les positions des franges lumineuses sur l'écran ainsi que l'interfrange.
5. *Les fentes sont éclairées par une source de lumière blanche.* Qu'observe-t-on sur l'écran ?