

# Annales - Problème (ondes et interférences)

## Formulaire

— On rappelle les formules trigonométriques suivantes :

$$\cos(p) + \cos(q) = 2 \cos\left(\frac{p+q}{2}\right) \cos\left(\frac{p-q}{2}\right) \quad \text{et} \quad \cos^2(a/2) = \frac{1 + \cos(a)}{2}$$

## I Interrupteurs optiques

Dans cette partie on s'intéressera à la bistabilité de dispersion, qui est obtenue en utilisant un milieu transparent non-linéaire dont l'indice dépend de l'intensité lumineuse comme  $n = n_0 + \gamma I$ , avec  $n_0$  l'indice de réfraction linéaire et  $\gamma$  le coefficient d'indice non linéaire supposé constant. Plus particulièrement on démontrera qu'un interféromètre de Mach-Zehnder, illustré en figure I.1, contenant un milieu non-linéaire dans l'un de ses bras, peut fonctionner comme un interrupteur optique.

L'interféromètre (illustré en figure I.1) est constitué :

- de deux lames séparatrices semi-réfléchissantes (nommées lame 1 et lame 2), dont le rôle est de diviser la lumière incidente en une onde transmise et une onde réfléchie,
- et de deux miroirs parfaitement réfléchissants.

Lorsqu'une onde est réfléchie ou transmise par la lame séparatrice, l'intensité lumineuse de l'onde est divisée par deux, soit une division par  $\sqrt{2}$  de son amplitude. De plus, et ce uniquement lors de la réflexion sur la lame séparatrice, un déphasage supplémentaire de  $\pi/2$  est accumulé par l'onde. Il n'y a pas de déphasage supplémentaire à considérer lors d'une transmission à travers la lame séparatrice.

On ne tiendra pas compte du déphasage de  $\pi$  induit lors de la réflexion sur les miroirs, car ce déphasage se compensera.

On place au sein de l'interféromètre deux matériaux de longueur  $L$ , l'un d'indice  $n$  et l'autre d'indice  $n'$ .

Une source envoie un faisceau de lumière cohérente qui est collimatée afin de produire une onde plane progressive monochromatique. On appellera  $E_0$  l'amplitude du champ électrique caractérisant l'onde lumineuse,  $I_0$  l'intensité lumineuse incidente définie par  $I_0 = \frac{1}{2}|E_0|^2$  et  $\omega$  la pulsation de l'onde.

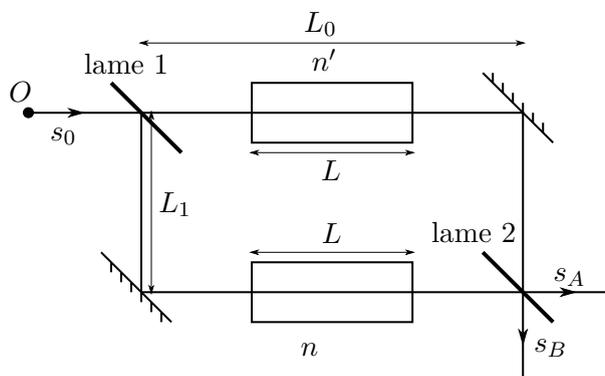


FIGURE I.1 – Schéma de l'interféromètre de Mach-Zehnder

Deux ondes ressortent dans des directions différentes après passage par la deuxième lame séparatrice. On note  $s_A$  et  $s_B$  ces deux signaux.

1. En vous appuyant sur une figure, identifier le trajet des deux ondes  $s_{A1}$  et  $s_{A2}$  qui interfèrent pour donner  $s_A$ .
2. On cherche à déterminer les chemins optiques des deux ondes  $s_{A1}$  et  $s_{A2}$ . Expliquer pourquoi le déphasage lors d'une réflexion sur la lame séparatrice revient à ajouter  $\frac{\lambda}{4}$  au chemin optique de l'onde.

3. On note  $\delta_{A1}$  et  $\delta_{A2}$  les chemins optiques des ondes  $s_{A1}$  et  $s_{A2}$  entre les deux lames séparatrices. Exprimer  $\delta_{A1}$  et  $\delta_{A2}$  en fonction de  $n$ ,  $n'$ ,  $\lambda$ ,  $L$ ,  $L_0$  et  $L_1$ . On n'oubliera pas le chemin optique supplémentaire lors d'une réflexion sur la lame séparatrice. On prendra l'indice optique de l'air égal à 1.
4. En déduire la différence de marche  $\delta_A = \delta_{A1} - \delta_{A2}$ .
5. On note  $s_0(t) = E_0 \cos(\omega t)$  l'onde émise par la source lumineuse à l'entrée de l'interféromètre. Exprimer les signaux  $s_{A1}(t)$  et  $s_{A2}(t)$  des deux ondes à la sortie  $A$  de la deuxième lame. En déduire l'expression de l'onde résultante  $s_A(t)$ . On exprimera l'amplitude  $E_A$  de  $s_A(t)$  en fonction de  $\delta_A$ ,  $E_0$  et  $\lambda$ .
6. En déduire que l'intensité de l'onde à la sortie  $A$  de l'interféromètre s'écrit
 
$$I_A = \frac{I_0}{2} \left[ 1 + \cos \left( \frac{2\pi}{\lambda} \times (n' - n)L \right) \right]$$
7. De la même manière, exprimer les chemins optiques  $\delta_{B1}$  et  $\delta_{B2}$  des deux ondes interférant à la sortie  $B$  de l'interféromètre. En déduire  $\delta_B = \delta_{B1} - \delta_{B2}$ , et l'expression de l'intensité  $I_B$  de l'onde résultante.
8. Exprimer  $I_A + I_B$ . Commenter.
9. On considère maintenant que l'indice  $n'$  dépend de l'intensité lumineuse  $I$  de l'onde traversant le milieu d'indice  $n'$  :  $n' = n + \gamma I$ , avec  $\gamma$  une constante réelle. Donner dans ce cas l'expression du déphasage entre les ondes  $s_{A1}$  et  $s_{A2}$ , que l'on notera  $\Delta\phi_{NL}$ . Tracer alors  $I_A$  et  $I_B$  en fonction de  $\Delta\phi_{NL}$ .
10. Que se passe-t-il pour le déphasage  $\Delta\phi_{NL} = \pi$ ? Expliquer pourquoi le dispositif expérimental présenté peut être utilisé comme un « trieur d'impulsion », comme représenté en figure I.2.

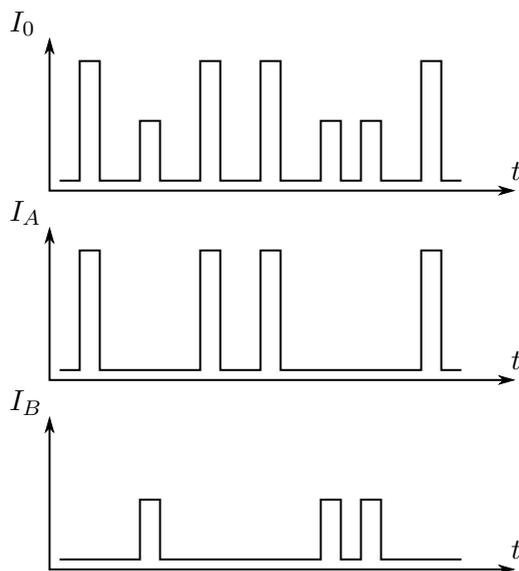


FIGURE I.2 – Illustration de l'utilisation de l'interféromètre de Mach-Zehnder comme un « trieur d'impulsion ».