




Modèle scalaire des ondes lumineuses

-  Difficulté d'analyse et compréhension, initiative requise ;
-  Difficulté technique et calculatoire ;
-  Exercice important.

Flasher ce code pour
accéder aux corrigés



Questions de cours



L'essentiel du cours sous forme de cartes mémo, réalisées par Christophe Cayssiols (scanner ou cliquer sur le QR code).

Les cartes utilisables pour ce chapitre sont toutes celles du bloc « modèle scalaire de la lumière » et celles du bloc « superposition d'ondes lumineuses » à l'exception des dernières portant sur les réseaux.

- 1 - Déterminer le temps de cohérence τ_c d'une raie de longueur d'onde λ et largeur $\Delta\lambda$.
- 2 - Rappeler sous quelles conditions deux ondes sont cohérentes. Établir la formule de Fresnel et l'exprimer, au choix de l'interrogateur, en termes de déphasage, d'ordre d'interférence ou de différence de marche.



Exercices de cours

Exercice 1 : Largeur d'une raie spectrale et temps de cohérence

[ 1 |  1 |  1]

La raie verte du mercure a une longueur d'onde $\lambda = 546 \text{ nm}$ et une largeur $\Delta\lambda = 2 \cdot 10^{-2} \text{ nm}$ dans une lampe haute pression. Déterminer son temps de cohérence. À combien de périodes cela correspond-il ?

Exercice 2 : Action d'une lentille sur les surfaces d'ondes



[ 1 |  0]

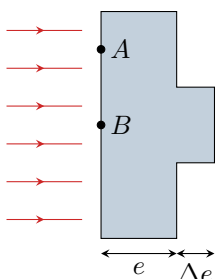
Pour toutes les questions suivantes, indiquer quel type de lentille utiliser, et le cas échéant où se trouve le centre de l'onde sphérique. Tracer un schéma sur lequel apparaissent les rayons lumineux et les surfaces d'onde.

- 1 - Comment transformer une onde sphérique divergente en une onde plane ?
- 2 - Une onde plane en une onde sphérique convergente ?
- 3 - Une onde sphérique divergente en une onde sphérique convergente ?
- 4 - Une onde plane en une onde sphérique divergente ?

Pour s'entraîner

Exercice 3 : Défaut sur une lame

[ 2 |  0]



- A'
- B'

Une onde plane arrive en incidence normale sur une lame d'indice n et d'épaisseur e . La lame présente un défaut d'épaisseur Δe .

- 1 - Tracer l'allure des rayons lumineux et des surfaces d'onde avant, dans et après la lame.
- 2 - Exprimer le déphasage entre A et A' , et entre B et B' en fonction de e , Δe , et $x = AA' = BB'$ (longueur géométrique).

Exercice 4 : Démonstration ondulatoire de loi de la réfraction

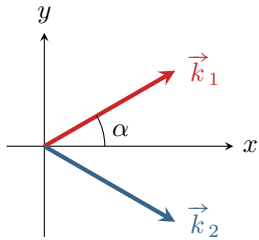
[💡 2 | ✂ 1]

Une onde plane arrive avec une incidence θ sur un dioptre plan séparant deux milieux d'indices n et n' . L'onde transmise est plane également et réfractée selon un angle θ' . On suppose $n' > n$.

- 1 - Faire un schéma représentant deux rayons incidents, les rayons réfractés associés, et des surfaces d'onde dans chacun des milieux. On note I_1 et I_2 les points d'incidence des rayons sur le dioptre.
- 2 - On note M_2 le point d'intersection de la surface d'onde passant par I_1 avec le rayon 2, et M_1 le point d'intersection de la surface d'onde passant par I_2 avec le rayon 1. Que dire des chemins optiques (I_1M_1) et (M_2I_2) ?
- 3 - En déduire la loi de Snell-Descartes pour la réfraction.

Exercice 5 : Interférences de deux ondes planes

[💡 2 | ✂ 1]



Considérons deux ondes planes progressives monochromatiques de même pulsation ω , dont les vecteurs d'onde \vec{k}_1 et \vec{k}_2 forment un angle $\pm\alpha$ par rapport à un axe (Ox). Ces ondes sont cohérentes et interfèrent.

On note a_1 et a_2 les amplitudes complexes respectives de la vibration scalaire associée à chaque onde. Ces amplitudes sont égales au point O , origine de l'espace,

$$\underline{a}_1(O, t) = \underline{a}_2(O, t) = A_0 e^{i\omega t}.$$

- 1 - Justifier que l'état d'interférences en un point M de l'espace est donné par

$$\Delta\varphi(M) = (\vec{k}_1 - \vec{k}_2) \cdot \overrightarrow{OM}.$$

- 2 - Exprimer les composantes de \vec{k}_1 et \vec{k}_2 en fonction de la longueur d'onde λ et de l'inclinaison α . En déduire l'expression du déphasage $\Delta\varphi(M)$ en fonction des coordonnées (x, y, z) du point M .
- 3 - On place un écran dans un plan $y = \text{cte}$: qu'observe-t-on ?
- 4 - On tourne le même écran dans un plan $z = \text{cte}$: décrire la figure d'interférences obtenue. Déterminer l'interfrange i , c'est-à-dire la distance séparant deux franges brillantes consécutives.

Exercice 6 : Tâche d'huile

[💡 2 | ✂ 1 | ⊗]

Une goutte d'huile déposée sur une flaqué d'eau s'étale en surface et forme une mince couche dont on supposera l'épaisseur e constante. Un observateur regarde un reflet du soleil en incidence normale sur la flaqué, et en se plaçant à la quasi-verticale de la flaqué, il observe une teinte magenta. On rappelle que le magenta est la couleur complémentaire du vert.

Données :

- ▷ $n_{\text{eau}} = 1,33$ et $n_{\text{huile}} = 1,5$;
- ▷ la réflexion d'une onde sur un milieu plus réfringent (indice plus élevé que le milieu dans lequel l'onde se propage) induit un déphasage à la réflexion $\Delta\varphi_r = \pi$.

- 1 - En considérant uniquement les interférences entre une onde réfléchi sur l'interface air-huile et l'autre sur l'interface huile-eau, montrer que la condition d'interférences destructives s'écrit

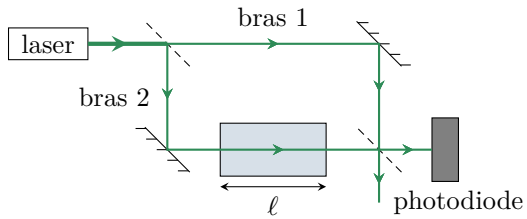
$$2n_h e = (k + 1)\lambda,$$

avec λ la longueur d'onde de la lumière dans le vide.

- 2 - Expliquer alors pourquoi le reflet est coloré.
- 3 - Estimer l'épaisseur minimale de la tâche d'huile donnant cette teinte. Peut-on déterminer sans ambiguïté l'épaisseur de la sorte ?

Exercice 7 : Mesure de l'indice optique du méthane

[💡 2 | 🌀 2 | 📡]



Un interféromètre de Mach-Zehnder, schématisé ci-contre, est composé de deux miroirs et de deux lames semi-réfléchissantes¹, qui transmettent la moitié de l'intensité lumineuse et réfléchissent l'autre moitié. L'interféromètre est éclairé par un laser de longueur d'onde $\lambda = 532 \text{ nm}$, et une photodiode mesure l'intensité dans l'une des voies de sortie de l'interféromètre.

Une cuve fermée de longueur $\ell = 10,0 \text{ cm}$ est placée dans l'un des bras. Cette cuve contient initialement de l'air, d'indice optique n_{air} , progressivement remplacé par du méthane d'indice $n_{\text{CH}_4} > n_{\text{air}}$. Au cours de l'opération, la photodiode permet d'observer le défilement de 32 franges.

- 1 - Exprimer l'ordre d'interférence p_{air} lorsque la cuve est remplie d'air en fonction des longueurs géométriques L_1 , L_2 et ℓ des bras de l'interféromètre et de la cuve.
- 2 - Exprimer de même l'ordre p_{CH_4} lorsque la cuve est remplie de méthane.
- 3 - En déduire l'indice optique du méthane, sachant que $n_{\text{air}} = 1 + 2,78 \cdot 10^{-4}$.

1. Le même type de lame que la séparatrice d'un interféromètre de Michelson que nous rencontrerons bientôt.