

Interférences par division du front d'onde



Questions de cours et savoir-faire

Pour apprendre le cours : vérifiez que vous savez répondre à chaque question.

1. **SF1** Représenter la configuration des trous d'Young éclairés par une source ponctuelle à distance finie et un écran d'observation à grande distance finie.
 - (a) Tracer les rayons lumineux.
 - (b) Quel phénomène a lieu au niveau de chaque trou et qui explique la superposition des deux ondes ?
 - (c) Exprimer la différence de marche et l'ordre d'interférence en un point M
 - (d) Exprimer l'éclairement en un point de l'écran.
 - (e) Décrire la figure d'interférence et donner les positions des franges brillantes et des franges sombre en exploitant l'expression de l'ordre d'interférence.
 - (f) Définir et exprimer l'interfrange.
2. **SF2** Représenter le dispositif des trous d'Young « avec lentilles ». Expliquer le trajet des rayons lumineux. Exprimer la différence de marche, l'intensité lumineuse et l'interfrange.
3. Quel est l'effet d'une extension de la source parallèle aux franges ? Et perpendiculaire ?
4. Retrouver le critère de brouillage dans le cas de 2 sources ponctuelles.
5. Quel est l'effet d'une extension spectrale de la source ?
6. **SF3** Réseau par transmission :
 - (a) Établir la différence de marche entre deux motifs consécutifs.
 - (b) Établir la relation fondamentale des réseaux liant la condition d'interférences constructives à la valeur de la différence de marche entre deux motifs consécutifs.



Exercices phares

Exercice 1 - Etoile double

Une lunette astronomique est constituée d'un objectif \mathcal{L}_1 assimilable à une lentille mince de focale image $f'_1 = 1$ m et d'un oculaire \mathcal{L}_2 mis au point sur le plan focal image de \mathcal{L}_1 qui se

retrouve donc être le plan d'observation. On dirige l'axe de cette lunette vers un groupe de deux étoiles S_1 et S_2 très voisines (« étoile double » d'écart angulaire α petit) que l'on supposera ponctuelles, monochromatiques ($\lambda = 600$ nm) et d'égale intensité. On considèrera que l'axe est disposé de telle sorte que S_1 et S_2 se retrouvent symétriques par rapport à l'axe optique. En amont de l'objectif, on dispose un écran opaque percé de deux fentes fines que l'on assimilera, pour simplifier, à deux trous disposés symétriquement par rapport à l'axe et distants de e .

1. Faire un schéma indiquant le trajet des deux ondes issues de S_1 et interférant en un point M du plan d'observation. Déterminer l'expression de l'éclairement en M en présence de S_1 seule.
2. En déduire l'expression de l'éclairement total en M en présence de l'étoile double. Calculer l'interfrange pour $e = 6$ mm.
3. On augmente peu à peu e . La plus petite valeur de e pour laquelle les franges disparaissent est 52 mm. En déduire la valeur de l'écart angulaire α .

Exercice 2 - Spectrométrie à réseau

On souhaite déterminer la longueur d'onde λ de la raie du cadmium avec un réseau comptant $n = 500$ traits par millimètre.

1. Décrire un montage expérimental simple pour trouver cette longueur d'onde.
2. Établir la formule des réseaux.
3. On se place en incidence normale. On observe l'ordre -2 et l'ordre 2 séparés par un angle $\alpha = 61^\circ 9'$, où $1' = 1/60^\circ$. Déterminer λ .



Exercices en plus

Exercice 3 - Trous d'Young éclairés par un doublet

Pour quantifier les observations faites dans le cours

Considérons un dispositif de fentes d'Young éclairé par une lampe à vapeur de mercure assimilée à une source ponctuelle située sur l'axe optique du montage, dont on isole le doublet jaune par un filtre approprié. Ce doublet est formé de deux raies très rapprochées, modélisées par deux raies monochromatiques de même intensité I_m et de longueurs d'onde $\lambda_1 = 577$ nm et $\lambda_2 = 579$ nm. Les fentes d'Young sont séparées d'une distance a et ont pour largeur $a/10$. Sur l'écran placé à la distance $D \gg a$ des fentes, on observe de longues franges rectilignes dans la direction (Oy) et réparties périodiquement le long de l'axe (Ox) .

1. Pour une seule radiation monochromatique de longueur d'onde λ_0 , rappeler sans démonstration l'expression de l'ordre d'interférences au point de l'écran d'abscisse x puis celle de l'intensité. Définir l'interfrange. Pour laquelle des longueurs d'onde λ_1 ou λ_2 est-il le plus grand ?
2. Les ondes issues de la raie 1 et celles issues de la raie 2 interfèrent-elles ? Montrer que l'intensité totale se met sous la forme

$$I(x) = I_{moy} \left(1 + \cos \left(2\pi \frac{\Delta\lambda}{2\lambda^2} \frac{ax}{D} \right) \cos \left(2\pi \frac{ax}{\lambda \cdot D} \right) \right)$$

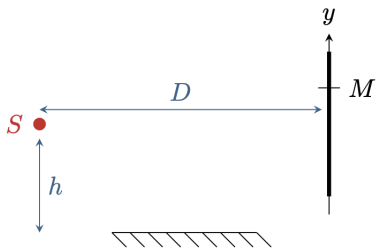
avec I_{moy} une constante de proportionnalité dépendant de l'intensité I_m des raies ; $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ la séparation du doublet et $\lambda = (\lambda_1 + \lambda_2)/2$ sa longueur d'onde moyenne. Comme les deux longueurs d'onde sont très proches, on approximera $\lambda_1\lambda_2 \simeq \lambda^2$.

- Déterminer la période spatiale des deux cosinus. En déduire que l'un d'eux s'interprète comme un terme d'interférences et l'autre comme un facteur de contraste dépendant du point d'observation. Représenter alors schématiquement l'allure de $I(x)$.
- En utilisant la largeur $a/10$ des deux fentes d'Young, estimer la taille de la figure d'interférences sur l'écran et le nombre de franges observables. Qu'observe-t-on réellement sur l'écran ?

Exercice 4 - Miroir de Lloyd

Pour ramener un interféromètre à la configuration des trous d'Young

Le dispositif interférentiel représenté ci-après est appelé miroir de Lloyd.



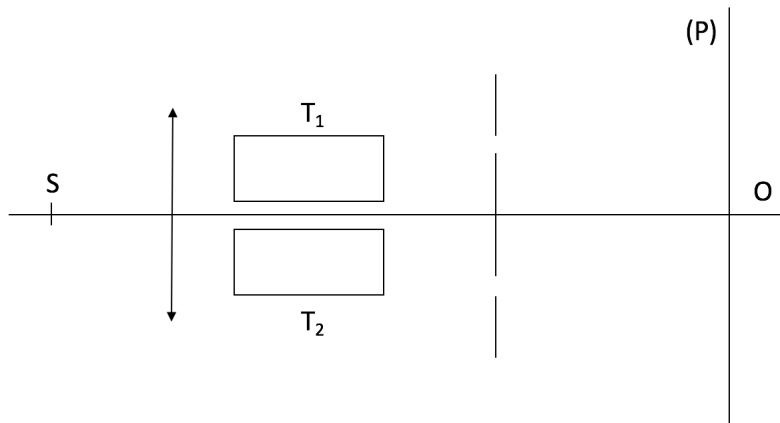
Une source ponctuelle S monochromatique ($\lambda = 600 \text{ nm}$) est située à une distance h d'un miroir plan (orthogonal au plan de figure). On indique que la réflexion sur le miroir entraîne un déphasage de π de l'onde réfléchie, ou de façon équivalente augmente le chemin optique de $\lambda/2$. On donne $D = 35 \text{ cm}$.

- Montrer que ce montage est équivalent à une configuration des trous d'Young.
- Déterminer au point M la différence de marche, l'ordre d'interférences et l'intensité. En déduire l'interfrange i .
- Que deviendrait la figure d'interférences si on remplaçait la source par une fente ?
- On garde la source ponctuelle et on forme l'image de l'écran à l'aide d'une lentille mince convergente de focale $f' = 10 \text{ cm}$ qu'on dispose à 12 cm en aval de l'écran. L'interfrange mesuré est de $1,5 \text{ mm}$. En déduire h .

Exercice 5 - Détermination de l'indice de l'air - Interféromètre de Rayleigh

Exercice assez classique, qui permet de vérifier qu'on a bien compris les décalages de figures d'interférences

L'interféromètre de Rayleigh est représenté par le schéma ci-dessous :



Une source ponctuelle S monochromatique (de longueur d'onde dans le vide $\lambda = 589 \text{ nm}$) placée à l'infini (au foyer objet d'une lentille convergente) éclaire deux trous d'Young. Entre la lentille et les trous d'Young, on dispose deux tubes identiques T_1 et T_2 de longueur $\ell = 20 \text{ cm}$. Le faisceau qui arrive sur un des trous a traversé T_1 et le faisceau qui arrive sur l'autre trou a traversé T_2 . Au départ, les deux tubes sont remplis d'air sous pression atmosphérique, le montage est alors symétrique et on observe une frange brillante en O .

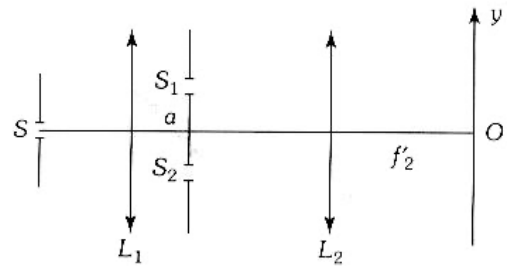
On fait alors le vide dans le tube T_1 sans rien changer à T_2 : on observe alors au cours du pompage le défilement de 99 franges, et, à la fin, une frange noire se trouve en O .

Déterminer l'indice de l'air sous pression atmosphérique normale et indiquer dans quel sens s'est déplacée la figure d'interférences.

Exercice 6 - Trous d'Young avec deux lentilles

Exercice classique d'oral, très complet. Calcul de différence de marche et effet d'une extension spatiale de la source

Une fente source rectangulaire très fine S perpendiculaire au plan de la figure est placée au foyer objet d'une lentille mince convergente \mathcal{L}_1 . Elle émet une radiation monochromatique de longueur d'onde λ_0 . À la suite de \mathcal{L}_1 , on dispose une deuxième lentille mince convergente \mathcal{L}_2 , de distance focale f'_2 , et dans le plan focal image de celle-ci, un écran. \mathcal{L}_1 et \mathcal{L}_2 ont même axe optique.



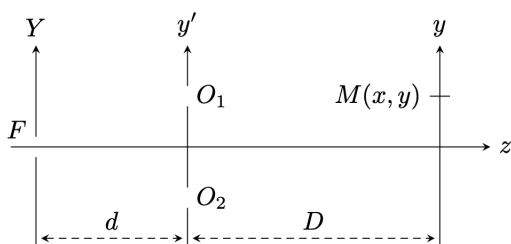
Entre \mathcal{L}_1 et \mathcal{L}_2 , symétriquement par rapport à leur axe optique se trouvent deux fentes S_1 et S_2 parallèles à la fente source S et situées à la distance a l'une de l'autre. On donne : $a \ll f'_2$.

1. Où se trouve l'image géométrique de la source S ? Soit O ce point et soit Oy un axe perpendiculaire aux fentes S , S_1 et S_2 . Les points M de l'écran sont repérés par leur ordonnée y . Faire un schéma montrant les deux rayons interférant en un point M de Oy .
2. Calculer la différence de marche δ en M en fonction de a , y et f'_2 . En déduire l'existence d'un système de franges dont on donnera l'interfrange i .
3. On translate la fente S_1 , parallèlement à elle-même, de la distance e vers les $y > 0$. Dire qualitativement ce que cela change.
4. La fente S_1 étant ramenée à sa position initiale, on translate maintenant la source S , parallèlement à elle-même, de la distance d (on la translate vers le haut). Qu'y a-t-il de changé? ($d \ll f'_1$ et f'_2).
5. On élargit la fente source S . Que se passe-t-il?



Exercices pour aller plus loin ***

Exercice 7 - Fentes d'Young éclairées par une fente source



Considérons le dispositif de fentes d'Young ci-contre, en posant $a = O_1O_2$. On suppose d et D sont très supérieures à a . On considère dans un premier temps la source F ponctuelle.

1. Qu'observe-t-on sur l'écran ?
2. Déterminer l'intensité I en un point M de l'écran.

On considère désormais que F est une fente source comprise entre $Y = -\varepsilon$ et $Y = \varepsilon$. On la modélise comme une juxtaposition de bandes infinitésimales de largeur dY incohérentes les unes avec les autres. Une bande de largeur dY émettant une intensité $dI = \mathcal{I}_Y dY$.

3. Expliquer qualitativement pourquoi on observe un brouillage progressif sur l'écran. Estimer la largeur de cohérence spatiale ε_c à partir de laquelle la figure d'interférences est brouillée.
4. Justifier que l'intensité en un point M de l'écran peut s'écrire sous la forme

$$I(M) = \int_{-\varepsilon}^{\varepsilon} \mathcal{I}_0 \left(1 + \cos \left(\frac{2\pi a}{\lambda} \left(\frac{y}{D} + \frac{Y}{D} \right) \right) \right) dY$$

5. Procéder au calcul. Identifier un terme d'interférences et un facteur de contraste.
6. Quelle est la première valeur de ε pour laquelle il y a brouillage ?

Exercice 8 - Résolution de problème - Couche antireflet

Dans certains instruments d'optique, on ne souhaite pas avoir de reflet causé par les dioptres (par exemple les lentilles des appareils photographiques).

On constate que ces dioptres en verre sont recouverts d'une couche de fluorure de magnésium d'indice $n = 1,38$.

Quelle épaisseur doit-on choisir pour cette fine couche afin de supprimer le reflet lumineux ?

Exercice 9 - Etalonnage d'un réseau

Un réseau est éclairé en incidence quasi-normale par une source de longueur d'onde $\lambda = 435$ nm. On lit sur le vernier d'un goniomètre la position de la lunette pour différents ordres :

p	-2	-1	1	2
α_p	23°23'	42°38'	77°20'	96°40'

1. Rappeler la formule des réseaux et l'expliquer.
2. Le réseau est-il bien éclairé en incidence normale ?
3. Calculer le pas du réseau et le nombre de traits par millimètre.
4. On éclaire le réseau en incidence normale par une source de longueur d'onde λ' . Pour l'ordre 2, on relève $\alpha'_2 = 108°30'$. Déterminer λ' .