

Interférences par division du front d'onde

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

Flasher ce code pour
accéder aux corrigés



Questions de cours

Seuls les étudiants du groupe de TD PT* seront interrogés en colle sur les questions marquées d'une étoile, car elles sont plus techniques et/ou moins essentielles ... mais tous les étudiants sont bien sûr invités à les travailler !

21.1 - Établir l'expression de la différence de marche dans le cas de trous d'Young éclairés par une source ponctuelle monochromatique placée sur l'axe des trous et pour un écran placé à grande distance.

21.2 - Établir l'expression de la différence de marche dans le cas de trous d'Young éclairés par une source ponctuelle monochromatique placée sur l'axe des trous et pour l'observation dans le plan focal image d'une lentille convergente.

L'interrogateur sera particulièrement vigilant à la rigueur de vos explications d'une part pour la construction des rayons qui interfèrent, et d'autre part pour la simplification du calcul de la différence de marche sous la forme « $\delta = HM$ ».

21.3 - Dans le cas de trous d'Young éclairés par une source étendue centrée sur l'axe optique, établir l'expression de la largeur de cohérence spatiale de la source. L'expression de la différence de marche sera rappelée sans démonstration par l'étudiant.

Méthode attendue : application du critère de brouillage.

21.4 - Établir la formule des réseaux.

La différence de marche entre deux motifs consécutifs doit être redémontrée, et il est attendu que l'étudiant explique pourquoi il suffit de considérer des interférences constructives entre deux motifs pour déterminer les directions d'interférences constructives entre tous les motifs.

Trous d'Young et dispositifs analogues

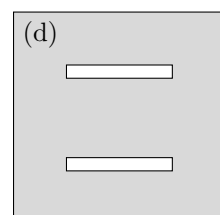
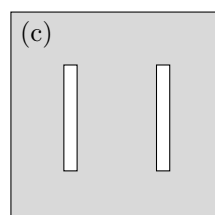
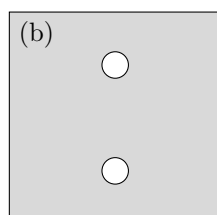
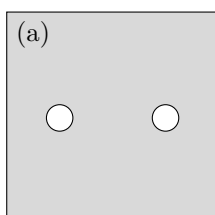
Exercice 1 : Figures d'interférences

💡 1 | ✂ 0



- ▷ Allure des figures d'interférences ;
- ▷ Diffraction.

On éclaire un dispositif d'Young (trous ou fentes) en lumière monochromatique. Représenter l'allure de la figure d'interférences observée sur un écran à grande distance pour chacun des dispositifs ci-dessous.



Exercice 2 : Fentes d'Young en éclairage parallèle

💡 1 | ✂ 2 | Ⓞ



- ▷ Différence de marche à l'infini ;
- ▷ Largeur de cohérence spatiale.

On étudie le dispositif schématisé figure 1, dans lequel une lampe au mercure suivie d'un filtre vert éclaire un dispositif de fentes d'Young de grande hauteur dans la direction z . La taille apparente de la lampe source est imposée par une fente de largeur réglable ℓ : l'ensemble lampe, filtre et fente source est équivalent à une source étendue monochromatique de longueur d'onde λ_0 . Cette source est placée dans le plan focal objet d'une lentille L_1 , ce qui permet d'éclairer les fentes d'Young en lumière parallèle. Les interférences sont observées dans le plan focal image d'une lentille L_2 . Le dispositif est supposé invariant par translation le long de l'axe z . On définit deux axes y_1 dans le plan de la fente source et y_2 dans le plan de l'écran.

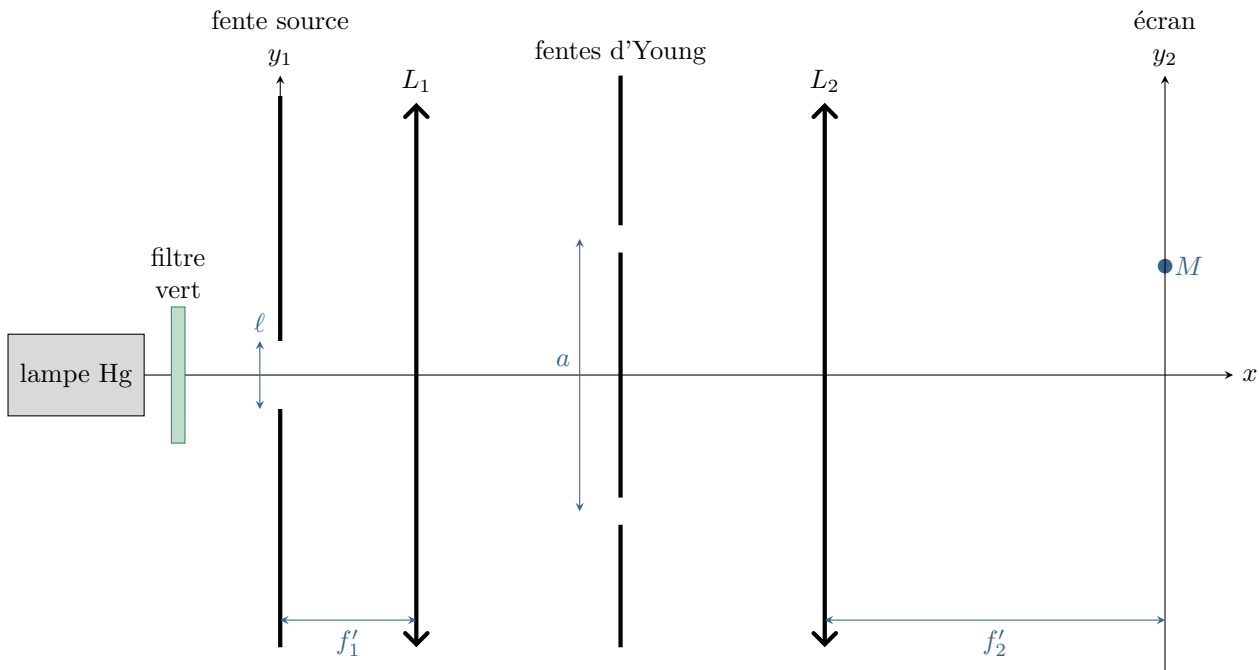


Figure 1 – Fentes d'Young éclairées en lumière parallèle.

- 1 - Tracer sur la figure la marche des deux rayons issus de l'extrémité haute de la source qui interfèrent au point M .
- 2 - Montrer que l'ordre d'interférence pour les rayons issus d'un point d'ordonnée y_1 de la fente source et qui interfèrent au point d'ordonnée y_2 de l'écran vaut

$$p = \frac{a}{\lambda_0} \left(\frac{y_1}{f'_1} + \frac{y_2}{f'_2} \right).$$

- 3 - En déduire l'expression de la largeur de cohérence spatiale de la fente source.

Exercice 3 : Étoile double

oral banque PT | 💡 2 | ✂ 2 | Ⓞ



- ▷ Différence de marche à l'infini ;
- ▷ Deux sources ponctuelles.

Modélisons un interféromètre astronomique par un système de trous d'Young, voir figure 2. Cet interféromètre est utilisé pour étudier une étoile double, c'est-à-dire une paire d'étoiles en orbite l'une autour de l'autre. Les ondes lumineuses issues des deux étoiles sont supposées monochromatiques, incohérentes et de même intensité. Elles arrivent sur l'interféromètre en formant un angle θ_0 tel que la bissectrice de cet angle est normale au système de fentes. Une lentille convergente est placée derrière ces fentes, et un capteur est situé dans le plan focal de la lentille.

- 1 - Qu'observe-t-on sur l'écran ?
- 2 - Exprimer l'intensité lumineuse totale en un point M quelconque de l'écran.
- 3 - Faire apparaître et identifier les termes de visibilité et d'interférences.

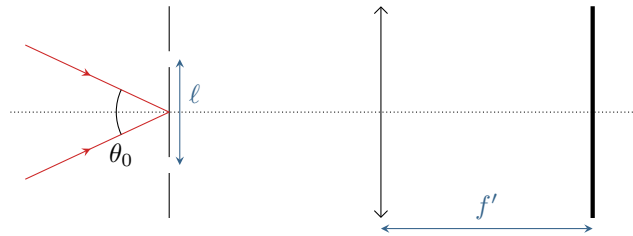
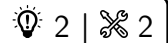


Figure 2 – Interféromètre stellaire modélisé par des trous d'Young.

4 - Sachant que la distance ℓ entre les deux trous est variable, expliciter dans quel cas les interférences apparaissent et disparaissent.

5 - La visibilité des interférences s'annule pour la première fois lorsque $\ell = \ell^*$. Exprimer θ_0 .

Exercice 4 : Fentes d'Young éclairées par un doublet spectral



- ▷ Doublet spectral ;
- ▷ Influence de la diffraction.

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 $\lambda_1 = 577 \text{ nm}$ et $\lambda_2 = 579 \text{ nm}$.

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

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

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 $\lambda_1\lambda_2 \simeq \lambda^2$.

3 - 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 $I(x)$.

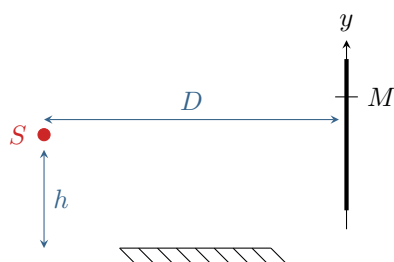
4 - En utilisant la largeur $a/10$ des deux fentes d'Young, égale à la distance séparant les fentes, estimer la taille de la figure d'interférences sur l'écran et le nombre de franges observables. Qu'observe-t-on réellement sur l'écran ?

Exercice 5 : Miroir de Lloyd

oral CCP MP | 💡 2 | ✂ 2



- ▷ Autre interféromètre par division du front d'onde ;
- ▷ Différence de marche à grande distance ;
- ▷ Influence du déplacement et de l'élargissement de la source.



Le dispositif de Lloyd permet d'obtenir des interférences à deux ondes. Il consiste en un miroir plan et un écran, éclairés par une source S supposée ponctuelle et monochromatique de longueur d'onde λ placée très proche du miroir. 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 $\lambda/2$.

1 - Montrer que le dispositif est équivalent à des trous d'Young. On pourra faire intervenir l'image S' de la source S par le miroir.

2 - Déterminer au point M la différence de marche, l'ordre d'interférences et l'intensité. En déduire l'interfrange i .

3 - On décale la source de Δh et on mesure $i' = 1,5i$. Décrire la nouvelle figure d'interférences et exprimer la longueur d'onde λ en fonction des données du problème¹.

4 - On remplace la source ponctuelle par une fente. Que devient la figure d'interférences ?

Réseaux**Exercice 6 : Spectrométrie à réseau**

oral banque PT | 💡 1 | ✂ 1 | ⚙ 1



- ▷ Résultats expérimentaux ;
- ▷ Formule des réseaux.

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.

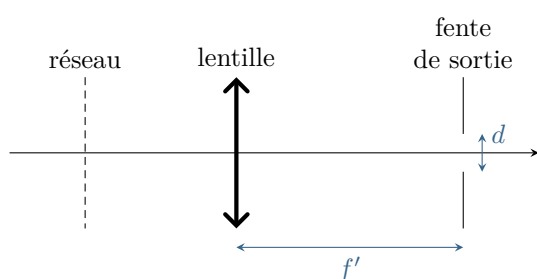
3 - On se place en incidence normale. On observe l'ordre -2 et l'ordre 2 séparés d'un angle $\alpha = 61^\circ 9'$, où $1' = 1/60^\circ$. Déterminer λ .

Exercice 7 : Monochromateur à réseau

💡 2 | ✂ 2



- ▷ Formule des réseaux ;
- ▷ Lentille convergente.



Un monochromateur à réseau est un dispositif optique permettant de produire une radiation monochromatique de longueur d'onde λ_0 réglable à partir d'une radiation polychromatique. On les retrouve par exemple dans tous les spectromètres destinés à l'identification d'espèces chimiques. Pour des raisons pratiques la plupart des monochromateurs utilisent des réseaux par réflexion, qui maximisent l'intensité lumineuse en sortie. Nous allons en étudier le principe sur le modèle simplifié représenté ci-contre, reposant sur un réseau par transmission.

Un réseau en transmission à $n = 500$ traits par millimètre est éclairé en éclairage parallèle par une source de lumière blanche non représentée sur le schéma. Les rayons incidents et émergents forment respectivement des angles i_0 et i avec l'axe optique orthogonal au réseau. On cherche à isoler la longueur d'onde $\lambda_0 = 500$ nm.

1 - On souhaite observer l'ordre 2 sur l'axe optique pour la longueur d'onde λ_0 à isoler. En déduire l'inclinaison i_0 à donner à la source.

1. L'énoncé rapporté par le candidat n'est pas très clair sur ce qui est ou n'est pas connu : pour une réalisation pratique de l'expérience, c'est la hauteur h qui est difficile à connaître précisément et qu'on cherchera à éliminer des calculs. En revanche, il n'y a pas de souci à mesurer Δh .

2 - Considérons un rayon de longueur d'onde $\lambda_0 + \delta\lambda$ avec $\delta\lambda \ll \lambda_0$. Déterminer l'angle i avec lequel il émerge du réseau. En déduire la dispersion angulaire du réseau au voisinage de λ_0 , qui s'exprime en $\text{rad} \cdot \text{nm}^{-1}$.

En sortie du réseau se trouvent une lentille convergente et une fente de sortie de largeur d située dans le plan focal image de la lentille.

3 - Déterminer les angles en sortie du réseau des rayons passant par les deux extrémités de la lentille. En déduire la résolution $\Delta\lambda$ du monochromateur, c'est-à-dire la largeur spectrale du faisceau de sortie.

4 - Comment choisir la largeur de la fente de sortie pour obtenir la radiation la plus pure possible ? En pratique, un compromis est à trouver : expliquer.

5 - Comment choisir la distance focale de la lentille pour obtenir la radiation la plus pure possible ?

Exercice 8 : Étalonnage d'un réseau

oral Mines Télécom MP | 💡 3 | ✂️ 2



- ▷ Résultats expérimentaux ;
- ▷ Réseau optique.

Un réseau est éclairé en incidence quasi-normale par une source de longueur d'onde $\lambda = 435 \text{ nm}$. 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 qualitativement.

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' .