

L'exercice 1 est constitué de questions courtes et précises, dont les réponses sont à trouver dans le cours. Les exercices 2 à 5 traitent des trous d'Young, l'exercice 2 est une application directe du cours ; l'exercice 3 reprend la démonstration du cours au début, la fin est plus complexe. Les exercices 4 et 5 nécessitent un apprentissage et une compréhension du cours importantes. Les exercices 6 à 8 traitent de l'interféromètre de Michelson, dans les deux configurations possibles, avec une source monochromatique ou non.

Exercice 1 : Question de cours

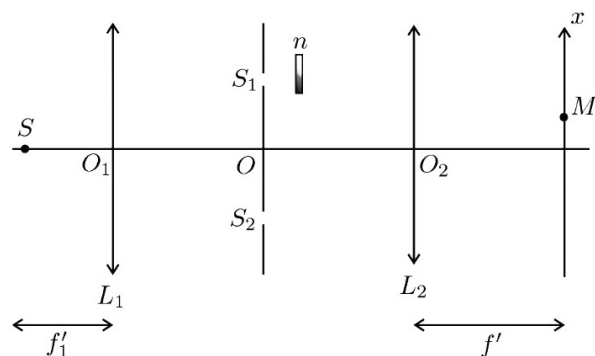
1) Vrai ou faux

1. Avec des trous d'Young, les interférences sont localisées en un plan unique de l'espace. C'est dans ce plan qu'il faut placer l'écran pour observer des interférences.
2. Lorsqu'une source est écartée de l'axe optique d'une distance x' , l'interfrange de la figure d'interférences n'est pas modifié.
3. L'interfrange est doublé lorsqu'on multiplie par deux la distance entre les trous d'Young.
4. L'utilisation de fentes parallèles à la place de trous d'Young ne modifie pas la forme de la figure d'interférences sur l'écran.

2) Cahier d'entraînement

Voir fiche 10 page 90.

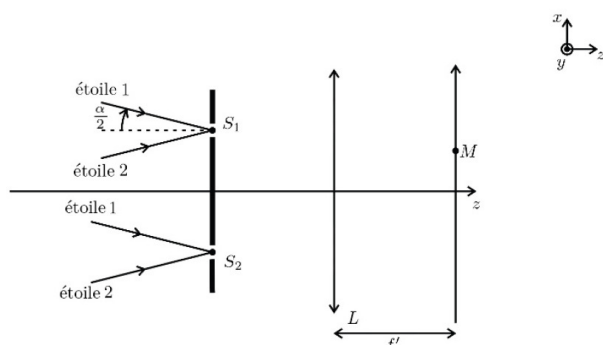
Exercice 2 : Fentes d'Young et lame de verre



On réalise l'expérience des fentes d'Young sur la figure sans la lame d'indice n . S_1 et S_2 sont deux fentes fines identiques. La source S monochromatique (de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 0,6 \mu\text{m}$) est elle aussi une fente fine parallèle à S_1 et S_2 et coïncide avec le foyer objet de la lentille L_1 ; l'écran d'observation se trouve dans le plan focal image de la lentille L_2 de distance focale $f' = 1,0 \text{ m}$. La distance S_1S_2 est égale à $a = 1 \text{ mm}$. L'indice de l'air vaut 1,0.

1. Calculer l'interfrange i sur l'écran.
2. Sur le trajet des rayons issus de S_1 , on place une lame d'épaisseur e et d'indice n . Calculer le déplacement des franges pour $n = 1,5$ et $e = 0,01 \text{ mm}$.

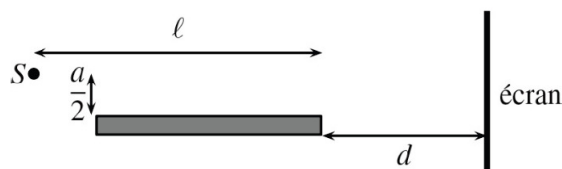
Exercice 3 : Etoiles à l'infini †



On considère deux étoiles à l'infini faisant entre elles un angle α très faible, de même éclairement $\mathcal{E}_0$, de même longueur d'onde. La lumière est diffractée par deux fentes S_1 et S_2 identiques, distantes de a et très fines. Un écran est placé dans le plan focal d'une lentille convergente de distance focale f' située après les fentes d'Young.

1. Calculer l'éclairement dû à chaque étoile en un point M de l'écran.
2. Déterminer le contraste de la figure d'interférences et en déduire pour quelles valeurs de a on observe un brouillage.

Exercice 4 : Miroirs de Lloyd †

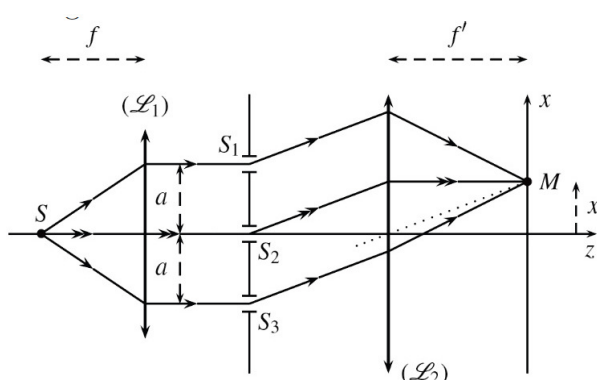


On considère un dispositif interférentiel constitué d'une lame de verre plane utilisée comme miroir plan, éclairée sous incidence rasante. Un point source S émet une lumière monochromatique de longueur d'onde λ_0 .

On rappelle que la réflexion sur un miroir s'accompagne d'un retard de phase égal à π .

1. Les interférences sont obtenues par superposition de l'onde issue directement de S et de celle réfléchie par le miroir. En déduire quelles sont les deux sources qui produisent des interférences. Sont-elles cohérentes ?
2. Représenter la marche des deux rayons lumineux qui interfèrent en un point M de l'écran. Vérifier que le dispositif fonctionne bien par division du front d'onde.
3. Décrire le champ d'interférences. Les interférences sont-elles localisées ?
4. L'écran est placé à la distance d du bord droit du miroir. La source est à la distance $\frac{a}{2}$ du miroir et la distance entre la source et le bord droit du miroir est notée l . Déterminer l'ordre d'interférences $p(M)$, la différence de marche $\delta(M)$ et la différence de phase $\Delta\varphi(M)$ en un point M de l'écran.
5. En déduire l'expression de l'intensité vibratoire sur l'écran. Quelle est la forme géométrique des franges d'interférences ? Peut-on remplacer la source ponctuelle par une fente lumineuse allongée dans la direction orthogonale au plan de la figure sans dégrader la visibilité des franges ?
6. On élargit maintenant la fente source dans la direction parallèle à l'écran. Sa largeur b est répartie également de part et d'autre de la position $\frac{a}{2}$. En utilisant le critère semi-quantitatif de visibilité des franges, estimer l'extension spatiale de la figure d'interférences où les franges restent visibles. On l'exprimera en fonction de l'interfrange i , de a et b .

Exercice 5 : trois trous d'Young ††



Trois trous d'Young S_1 , S_2 et S_3 , distants de a , sont éclairés par une source ponctuelle, émettant une radiation monochromatique de longueur d'onde λ_0 , placée au foyer principal objet d'une lentille convergente $\mathcal{L}_1$. On observe les interférences à l'infini, c'est-à-dire en un point M dans le plan focal d'une lentille convergente $\mathcal{L}_2$ de distance focale image f' .

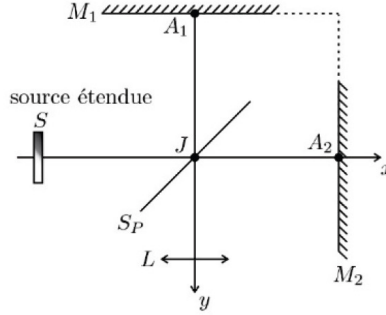
1. Les trois ondes qui interfèrent au point M sont-elles cohérentes ? Justifier votre réponse.
2. Evaluer la différence de marche $\delta_{12}(M)$ puis $\varphi_{12}(M) = \varphi(M)$ du rayon passant par S_1 par rapport au rayon passant par S_2 . Exprimer de même $\delta_{32}(M)$ et $\varphi_{32}(M)$.
3. Notation complexe

- (a) Dans le cas de deux sources S_1 et S_2 par exemple, on pose $\underline{s}_i = a_i e^{j(\omega t - \varphi_i(M))}$, retrouvez la formule de Fresnel sur l'éclairement en écrivant

$$I(M) = \frac{1}{2} K \underline{s} \cdot \underline{s}^*$$

- (b) On considère à nouveau les trois sources. Exprimez $\underline{s}_3$ et $\underline{s}_1$ en fonction de $\underline{s}_2$ et $\varphi(M)$. En déduire l'éclairement observé sur l'écran et représenter ses variations en fonction de la position du point d'observation M.

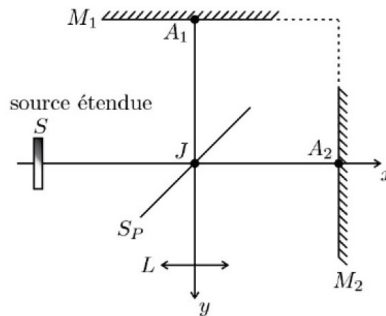
Exercice 6 : Michelson en lame d'air



Un interféromètre de Michelson est constitué par une lame semi réfléchissante, non absorbante, appelée séparatrice S_p dont les facteurs de transmission et de réflexion valent $1/2$, et de deux miroirs plans M_1 et M_2 perpendiculaires l'un à l'autre. Les distances JA_1 et JA_2 sont égales. La lame S_p est inclinée à 45° par rapport aux normales à M_1 et M_2 . La longueur d'onde de la source vaut $\lambda_0 = 546,1$ nm dans le vide, de symétrie de révolution autour de l'axe SJ. L'indice de l'air vaut $1,0$. On observe dans le plan focal d'une lentille mince convergente L de distance focale $f' = 1,0$ m.

1. Qu'observe-t-on sur l'écran ?
2. On déplace M_2 de $e = 1,1$ mm dans la direction des x positifs. Montrer à l'aide d'un schéma que le phénomène d'interférences observé est analogue à celui d'une lame d'air à faces parallèles. Comment s'appelle le dispositif ?
3. Où sont localisées les interférences ? Comment les observe-t-on expérimentalement ?
4. Déterminer les rayons des deux premiers anneaux brillants.
5. On place sur le bras JA_1 et parallèlement au miroir M_1 , une lame d'épaisseur $e = 9,5$ μm et d'indice $n = 1,5117$. Calculer la variation de l'ordre d'interférences au centre et les rayons des deux premiers anneaux brillants.

Exercice 7 : Michelson et doublet du sodium †

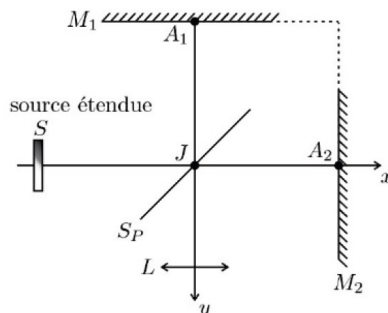


Un interféromètre de Michelson (est constitué par une lame semi réfléchissante, non absorbante, appelée séparatrice S_p dont les facteurs de transmission et de réflexion valent $1/2$, et de deux miroirs plans M_1 et M_2 perpendiculaires l'un à l'autre. Les distances JA_1 et JA_2 sont égales. La lame S_p est inclinée à 45° par rapport aux normales à M_1 et M_2 . La source primaire est une lampe à vapeur de sodium dont on suppose que le spectre d'émission ne contient que deux raies intenses, de même intensité, de couleur jaune et de longueurs d'onde dans la vide $\lambda_1 = \lambda_m - \frac{\Delta\lambda}{2}$ et $\lambda_2 = \lambda_m + \frac{\Delta\lambda}{2}$. On donne $\lambda_m = 589,3$ nm. On suppose que $\Delta\lambda \ll \lambda_m$. L'indice de l'air vaut $1,0$. On se place au contact optique. On fait tourner le miroir M_2 d'un angle α autour d'un axe perpendiculaire JA_2 et passant par A_2 .

1. Déterminer l'ordre d'interférences pour la longueur d'onde λ_0 quelconque et caractériser le système de franges.
2. On translate le miroir M_2 de façon à faire défiler les franges. On constate que les franges disparaissent une première fois lorsque le déplacement de M_2 est $d = 0,15$ mm. Expliquer le phénomène.

- Déterminer l'éclairement $\mathcal{E}$ au doublet au point A_1 et le contraste local de la figure d'interférences. Représenter graphiquement le contraste en fonction de la différence de marche. En déduire $\Delta\lambda$.
- En déduire $\Delta\lambda$ en raisonnant sur les ordres de chaque système d'interférences au point A_1 .
- Calculer la longueur de cohérence de la lampe à vapeur de sodium. Interpréter.

Exercice 8 : Michelson en coin d'air †



Un interféromètre de Michelson (est constitué par une lame semi réfléchissante, non absorbante, appelée séparatrice S_p dont les facteurs de transmission et de réflexion valent $1/2$, et de deux miroirs plans M_1 et M_2 perpendiculaires l'un à l'autre. Les distances JA_1 et JA_2 sont égales. La lame S_p est inclinée à 45° par rapport aux normales à M_1 et M_2 . La longueur d'onde de la source vaut $\lambda_0 = 546,1$ nm dans le vide, de symétrie de révolution autour de l'axe SJ. L'indice de l'air vaut $1,0$. On fait tourner le miroir M_2 d'un angle $\alpha = 1$ minute d'arc autour d'un axe perpendiculaire JA_2 et passant par A_2 .

- Comment s'appelle ce dispositif? Pour des rayons lumineux en incidence normale par rapport au miroir M_1 , faire apparaître à l'aide du schéma équivalent la position du plan de localisation de la figure d'interférences.
- Comment faut-il placer la lentille L pour observer les interférences sur un écran?
- Caractériser le système de franges et calculer numériquement la valeur de l'interfrange sur l'écran, sachant que le grandissement de la lentille est -4 .
- On translate le miroir M_2 d'une distance ℓ dans le sens des $x > 0$. De quelle distance se sont déplacées les franges sur l'écran?
- On éclaire le coin d'air en lumière blanche avec $\ell=0$. On place sur le bras JA_1 et parallèlement au miroir M_1 , une lame d'épaisseur $e' = 9,5 \mu\text{m}$ et d'indice $n = 1,5117$. Indiquer un moyen de déterminer l'indice moyen de la lame connaissant son épaisseur.