

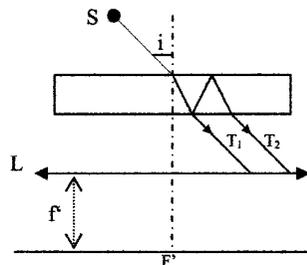
Optique physique

T.D N° 2

Interférences par division d'amplitude

Application 1 : lame à faces parallèles

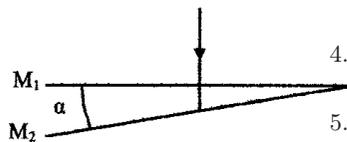
Une source étendue monochromatique émettant à la longueur d'onde $\lambda_0 = 0,5\mu\text{m}$, éclaire une lame à faces parallèles d'épaisseur $e = 1\text{ cm}$ et d'indice $n = 1,5$; la lame étant placée dans l'air. Un rayon incident donne, après réflexions et transmissions, deux rayons transmis T_1 et T_2 (Figure ci-contre), l'angle d'incidence i est supposé faible. On s'intéresse aux interférences par transmission.



- Donner l'expression de la différence de marche optique δ_t entre T_1 et T_2 ,
- Montrer que les surfaces d'égale intensité sont des anneaux localisés à l'infini.
- On ramène ces anneaux à distance fini en utilisant une lentille convergente de distance focale f et un écran d'observation E.
 - Donner l'expression de l'ordre d'interférence P_0 au centre F' .
 - Comment varie l'ordre d'interférence quand on s'éloigne de ce centre ?
 - Le rayon du troisième anneau sombre est égal à 5 mm. Sachant que le centre est brillant, calculer la distance focale f' .

Application 2 : lame coin d'air

On considère un coin d'air (Figure ci-contre) formé par deux lames M_1 et M_2 à faces planes et parallèles. On suppose les lames suffisamment minces pour ne pas avoir à tenir compte des translations des rayons lumineux à la traversée de chacune d'elles et on s'intéresse aux réflexions des rayons sur les faces de M_1 et M_2 .



Le coin d'air est éclairé sous incidence normale par une radiation monochromatique de longueur d'onde $\lambda_0 = 0,5890\mu\text{m}$. L'interfrange vaut 2,5 mm.

- Donner, en secondes d'arc, la valeur de l'angle α du coin.
- Que devient l'interfrange, pour λ_0 , quand on remplace l'air (entre M_1 et M_2) par l'eau d'indice $n = 4/3$?
- entre deux points A et B qui sont sur des franges brillantes, on compte 20 franges brillantes avec la radiation λ_0 . lorsqu'on la remplace par une radiation de longueur d'onde λ_1 inconnue, on a encore des franges brillantes entre A et B, et entre celles-ci, on en compte 18. déterminer λ_1

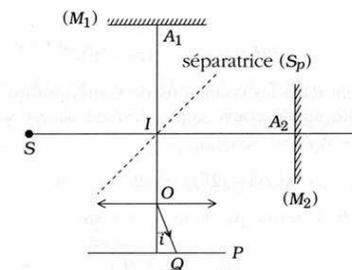
* Exercice 1 : interféromètre de Michelson (franges d'égale inclinaison)

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 deux miroirs plans (M_1) et (M_2) perpendiculaires l'un à l'autre.

La lame (S_p) est inclinée à 45° par rapport aux normales à (M_1) et (M_2). L'interféromètre est plongé dans l'air dont on prendra l'indice de réfraction égal à 1. La source S est ponctuelle et monochromatique, de longueur d'onde $\lambda = 0,4227\mu\text{m}$. Par construction, $IA_2 = IA_1 + l$ avec $l = 1\text{ cm}$.

On observe le phénomène d'interférence dans le plan focal P d'une lentille mince convergente L de distance focale $f' = 1\text{ m}$.

- Montrer que les franges d'interférences obtenues dans (P) sont des anneaux.
- En supposant l'ordre d'interférence p_0 entier au centre ($i=0$), calculer le rayons des cinq premiers anneaux brillants.
- Calculer la demi-largeur des anneaux; on la définit en disant que si, dans la direction du maximum de lumière l'éclairement est I_M , on trouve à demi-largeur l'éclairement $\frac{I_M}{2}$. (On ne calculera pas la demi-largeur du disque central).



* Exercice 2 : interféromètre de Michelson (franges d'égale épaisseur)

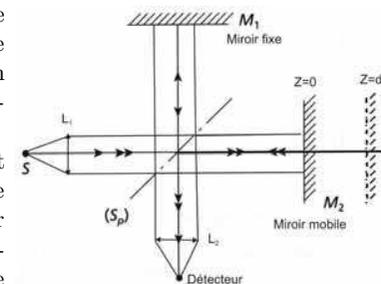
Un interféromètre de Michelson est réglé pour donner des franges de coin d'air; la différence de marche au centre du champ des miroirs est nulle. On opère sous incidence quasi normale, en lumière monochromatique de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 0,5893\mu\text{m}$ et on dispose de deux lentilles convergentes L_1 et L_2 de même distance focale $f' = 0,20\text{ m}$. On observe les franges du coin d'air par projection sur un écran E.

- Faire un schéma.
- L'écran E est placé à $D = 1\text{ m}$ de la lentille L_2 . L'interfrange mesuré sur l'écran est $i = 5\text{ mm}$. Calculer l'angle α du coin d'air. On règle maintenant l'interféromètre de Michelson en lumière blanche.
 - Qu'observe-t-on sur l'écran? On interpose sur un des trajets du faisceau lumineux (entre la séparatrice et un des miroirs) une lame d'indice n (le rayon lumineux est perpendiculaire aux faces de la lame) et d'épaisseur e .
 - Montrer qu'en déplaçant un des miroirs, on peut retrouver le phénomène initial. Pourquoi opère-t-on en lumière blanche ?
 - Montrer qu'ainsi on peut mesurer l'indice de la lame connaissant son épaisseur.

* Exercice 3 : Observation d'un doublet.

Un interféromètre de Michelson est éclairé par une source monochromatique λ_0 (pulsation ω_0) collimatée par la lentille L_1 qui donne un faisceau parallèle. Ce faisceau, considéré comme étant une onde plane dont l'amplitude du champ électrique $E_0 e^{i\omega t}$ est divisé en deux faisceaux identiques par une lame séparatrice d'épaisseur négligeable (appelé pellicule séparatrice).

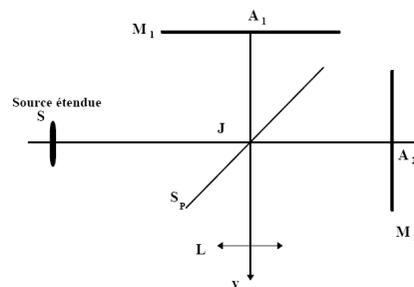
La première partie du faisceau réfléchi par un miroir fixe M_1 et après une nouvelle traversée de la pellicule se dirige vers la lentille L_2 et le détecteur. La deuxième partie du faisceau est réfléchi par un miroir mobile M_2 et après réflexion sur la pellicule vient interférer avec la première partie du faisceau. En $x = 0$, la différence de marche δ entre les deux faisceaux qui interfèrent est nulle.



1. Ecrire l'amplitude du champ électrique des deux faisceaux au niveau du détecteur.
2. Ecrire l'éclairement I_d vu par le détecteur en fonction du déplacement d du miroir mobile M_2 .
3. Représenter graphiquement la variation de l'éclairement I_d en fonction de λ_0 . Sur quelle distance doit-on déplacer le miroir mobile M_2 pour que l'éclairement I_d passe d'un minimum à un autre ?
4. On remplace la source monochromatique par une source émettant deux longueurs d'onde proches λ_1 et λ_2 ($\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$, $\lambda_1 \approx \lambda_2 \approx \lambda_0$ et $\Delta\lambda \ll \lambda_0$) et de même amplitude. Donner la nouvelle expression de l'éclairement E_d en fonction de λ_0 , $\Delta\lambda$ et de d . Représenter schématiquement cette variation et déterminer $\Delta\lambda$ ou $\Delta\nu$.
5. Cette source est un laser He-Ne émettant sur deux modes séparés de $\Delta\nu$ au voisinage de $\lambda_0 = 632,8nm$. Déterminer la valeur numérique de $\Delta\nu$ en MHz sachant que l'on est obligé de déplacer le miroir de 24,5 cm pour faire décrire à $I_d(d)$ un motif complet.

PROBLEME : Interféromètre de Michelson

Un interféromètre de Michelson est constitué par une lame semi réfléchissante, non absorbante, appelée séparatrice SP 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. La lame SP est inclinée à 45° par rapport aux normales à M_1 et M_2 . L'interféromètre est plongé dans l'air. Dans tout le problème, on ne tiendra compte, ni des inconvénients liés à l'épaisseur non négligeable de la séparatrice (qui sont supposés parfaitement corrigés grâce à une lame compensatrice), ni d'éventuels changements de phases par réflexion. L'indice de l'air sera pris égal à 1.



1. source monochromatique

On utilise comme source étendue S une lampe spectrale de symétrie de révolution autour de l'axe SJ.

1. Comment sélectionner une raie quasi-monochromatique de la lumière émise par la lampe ?
2. On part de la situation où les deux bras sont égaux ($JA_1 = JA_2$). On observe en lumière monochromatique dans le plan focal d'une lentille mince convergente L d'axe optique J_y et de distance focale $f' = 1m$.
 - (a) Qu'observe-t-on ?
 - (b) Pourquoi est-il nécessaire de diaphragmer la lentille ou de limiter l'inclinaison des rayons incidents issus de la source primaire ?

2. une lame d'air à faces parallèles

On déplace M_2 normalement à son plan de $e = 1,1$ mm dans la direction des x positifs.

1. 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.
2. Donner en le justifiant, le lieu de localisation des franges d'interférences.
3. Avec une raie de longueur d'onde $\lambda = 546,1nm$ dans le vide, déterminer le rayon du premier anneau brillant.

4. On place sur le bras JA_1 et parallèlement au miroir M_1 , une lame d'épaisseur $e' = 9,5\mu m$ et d'indice $n = 1,5117$. Calculer la variation de l'ordre d'interférence au centre et le rayon du premier anneau brillant.

3. une lame à un coin d'air

A partir de la situation où les deux bras sont égaux ($JA_1 = JA_2$), on fait tourner le miroir M_2 d'un angle α très faible autour d'un axe perpendiculaire JA_1A_2 et passant par A_2 .

1. Montrer à l'aide d'un schéma que le dispositif est équivalent à d'angle ?.
2. Comment éclairer le coin d'air sous incidence quasi-normale ?
3. Pour des rayons lumineux voisins de l'incidence normale, faire apparaître à l'aide d'un schéma, la position du plan de localisation de la figure d'interférences.
4. Comment faut-il placer la lentille L pour observer les interférences sur un écran ?
5. Caractériser le système de franges et donner la valeur de l'interfrange i sur l'écran, sachant que le grandissement de la lentille est 4.
Application numérique : $\alpha = 1$ minute d'arc. $\lambda = 546,1nm$. Donner la valeur de i .
6. On éclaire le coin d'air en lumière blanche, et on replace la lame d'épaisseur e' . Indiquer un moyen de déterminer l'épaisseur e' ou l'indice moyen de la lame.

4. doublet de sodium

L'interféromètre est réglé comme à la question 3, mais la source primaire est maintenant une lampe à vapeur de sodium dont on suppose que le spectre d'émission ne contient que deux raies intenses, de couleur jaune et de longueur d'onde $\lambda_1 = 589,0nm$ et $\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda$ avec $0 \ll \Delta\lambda \ll \lambda_1$. On déplace le miroir M_2 de façon à faire défiler les franges obtenues dans la question 4. On constate que les franges disparaissent lorsque le déplacement de M_2 est $d = 0,15$ m.

1. Expliquer le phénomène.
2. En déduire $\Delta\lambda$ et λ_2

5. source polychromatique

L'interféromètre est réglé comme à la question 3. La radiation utilisée maintenant, la raie rouge du cadmium, ($\lambda_0 = 643,8nm$) n'est pas rigoureusement monochromatique. On peut admettre que le spectre d'émission : $I(\nu) = I_0$ est une constante entre $(\nu_0 - \Delta\nu/2)$ et $(\nu_0 + \Delta\nu/2)$; ν_0 est la fréquence centrale de la raie correspondant à la longueur d'onde λ_0 .

1. Déterminer le facteur de visibilité V (ou facteur de contraste) des franges en fonction de la différence de marche δ , de $\Delta\nu$, et de la vitesse de la lumière dans le vide C . On donne $V = \frac{(E_2 - E_1)}{(E_2 + E_1)}$, E_2 étant l'éclairement d'une frange brillante et E_1 celui d'une frange sombre.
2. Pour quelle valeur de δ , V s'annule-t-il pour la première fois ? On notera : $L_c = c/\Delta\nu$, la longueur de cohérence.
3. Michelson avait trouvé pour la raie rouge du cadmium $L_c = 30cm$. Calculer $\Delta\nu$ pour la raie rouge du cadmium et en déduire la durée τ du train d'onde.