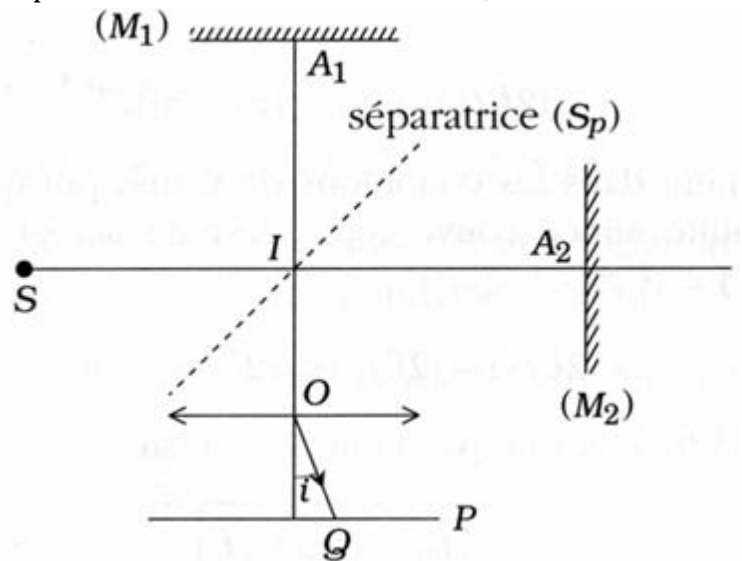


Exercice 1 : interféromètre de Michelson (franges d'égale inclinaison)

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 $\frac{1}{2}$, 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 $l = 1$ cm. On observe le phénomène d'interférence dans le plan focal P

d'une lentille mince convergente L de distance focale $f = 1$ m.

1. Montrer que les franges d'interférences obtenues dans (P) sont des anneaux.
2. En supposant l'ordre d'interférence $p\theta$ entier au centre ($i=0$), calculer le rayons des cinq premiers anneaux brillants.
3. Calculer la demi-largeur des anneaux ; on la définit en disant que si, dans la direction du maximum de lumière l'éclairement est EM , on trouve à demi-largeur l'éclairement $EM/2$.

(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 $f = 0,20$ m. On observe les franges du coin d'air par projection sur un écran E .

1. Faire un schéma.

2. L'écran E est placé à $D = 1$ m de la lentille L_2 . L'interfrange mesuré sur l'écran est : $i = 5$ mm. Calculer l'angle α du coin d'air.

On règle maintenant l'interféromètre de Michelson en lumière blanche.

3. 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 .

4. Montrer qu'en déplaçant un des miroirs, on peut retrouver le phénomène initial. Pourquoi opère-t-on en lumière blanche ?

5. Montrer qu'ainsi on peut mesurer l'indice de la lame connaissant son épaisseur.

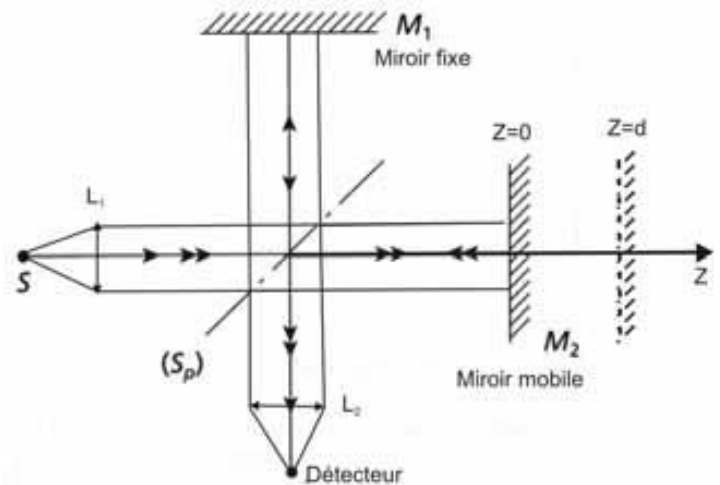
Exercice 3 : Observation d'un doublet.

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 M1 et après une nouvelle traversée de la pellicule se dirige vers la lentille L2 et le détecteur.

La deuxième partie du faisceau est réfléchi par un miroir mobile M2 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 E_d vu par le détecteur en fonction du déplacement d du miroir mobile M2.
3. Représenter graphiquement la variation de l'éclairement E_d en fonction de λ_0 . Sur quelle distance doit-on déplacer le miroir mobile M2 pour que l'éclairement E_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 ($\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$, $\lambda_1 \approx \lambda_2 \approx \lambda_0$ 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 $\lambda_0 = 632,8$ nm. 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 $E_d(d)$ un motif complet.

Exercice 5 : Interférences en lumière blanche ; spectre cannelé

On reprend l'interféromètre décrit dans l'exercice précédent auquel on se reportera. La source

(S) émet maintenant de manière uniforme dans un intervalle de fréquence (ν_1, ν_2) .

L'éclairement émis dans la bande élémentaire de largeur $d\nu$ appartenant à cet intervalle s'écrit : $d\varepsilon = A d\nu$.

1. Montrer que l'éclairement total peut se mettre sous la forme :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 (1 + f(\delta))$$

Expliciter $f(\delta)$.

2. Cette source est en fait une source de lumière blanche ; les longueurs d'onde qui limitent le spectre sont : $\lambda_1 = 0,400$ nm et $\lambda_2 = 0,650$ nm. En vous aidant d'une calculatrice, tracer $\varepsilon_0 / \varepsilon$ en fonction de δ , δ variant de $-0,2$ μm à $0,2$ μm .

En déduire une méthode de réglage de l'interféromètre en épaisseur nulle.

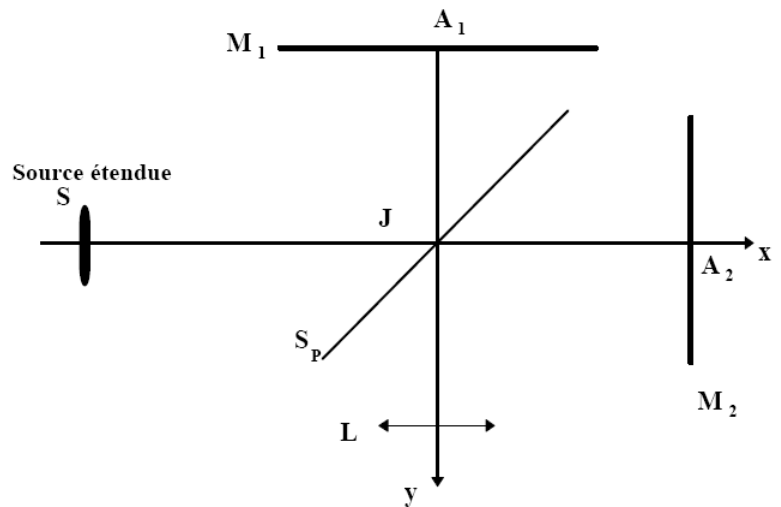
3. On place en écran à la place du détecteur et on appelle F' le foyer image de la lentille L2. On fixe la différence de marche δ à une valeur supérieure à 2 μm . Qu'observe-t-on en F' ?

On place derrière F' un spectroscopie dont F' constitue la fente d'entrée. Montrer que l'on obtient un spectre traversé de bandes sombres (ou spectre cannelé).

Evaluer le nombre N de bandes sombres dans le domaine visible en fonction de δ . En déduire une méthode de réglage de l'épaisseur nulle du Michelson.

PROBLEME : Interféromètre de Michelson

1. 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 M1 et M2 perpendiculaires l'un à l'autre. La lame SP est inclinée à 45° par rapport aux normales à M1 et M2. 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.



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

1-1. Comment sélectionner une raie quasi-monochromatique de la lumière émise par la lampe?

1.2 On part de la situation où les deux bras sont égaux ($JA1 = JA2$). On observe en lumière monochromatique dans le plan focal d'une lentille mince convergente L d'axe optique Jy et de distance focale $f' = 1\text{m}$.

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. On déplace M2 normalement à son plan de $e = 1,1\text{ mm}$ dans la direction des x positifs.

2.1 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.

2.2 Donner en le justifiant, le lieu de localisation des franges d'interférences.

2.3 Avec une raie de longueur d'onde $\lambda = 546,1\text{ nm}$ dans le vide, déterminer le rayon du premier anneau brillant.

2.4 On place sur le bras JA1 et parallèlement au miroir M1, une lame d'épaisseur $e' = 9,5\ \mu\text{m}$ et d'indice

$n = 1,5117$. Calculer la variation de l'ordre d'interférence au centre et le rayon du premier anneau brillant.

3. A partir de la situation où les deux bras sont égaux ($JA1 = JA2$), on fait tourner le miroir M2 d'un angle α très faible autour d'un axe perpendiculaire JA1A2 et passant par A2.

3.1 Montrer à l'aide d'un schéma que le dispositif est équivalent à un coin d'air d'angle α .

3.2 Comment éclairer le coin d'air sous incidence quasi-normale?

3.3 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.

3.4 Comment faut-il placer la lentille L pour observer les interférences sur un écran ?

3.5 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. $\lambda = 546,1$ nm. Donner la valeur de i .

3.6 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. 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 $\lambda_1 = 589,0$ nm et $\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda$ avec $0 \ll \Delta\lambda \ll \lambda_1$.

On déplace le miroir M2 de façon à faire défiler les franges obtenues dans la question 4.

On constate que les franges disparaissent lorsque le déplacement de M2 est $d = 0,15$ m.

4.1 Expliquer le phénomène.

4.2 En déduire $\Delta\lambda$ et λ_2 .

5. L'interféromètre est réglé comme à la question 3.

La radiation utilisée maintenant, la raie rouge du cadmium, ($\lambda_0 = 643,8$ nm) 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 .

5.1 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 $V = (E_2 - E_1) /$

$(E_2 + E_1)$, E_2 étant l'éclairement d'une frange brillante et E_1 celui d'une frange sombre.

5.2 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.

5.3 Michelson avait trouvé pour la raie rouge du cadmium $L_c = 30$ cm. Calculer $\Delta\nu$ pour la raie rouge du cadmium et en déduire la durée τ du train d'onde.