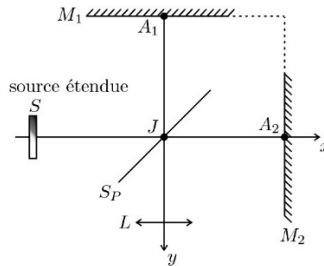


OP5 – Dispositif interférentiel par division d'amplitude : le Michelson

A – Travaux dirigés

OP51 – Michelson en lame d'air

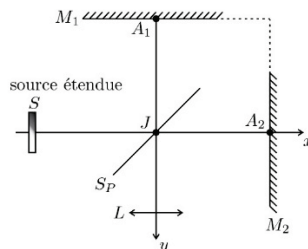


Un interféromètre de Michelson est constitué par une lame semi réfléchissante, non absorbante, appelée séparatrice S_p dont les facteurs de transmission et de réflexion valent $1/2$, et de deux miroirs plans M_1 et M_2 perpendiculaires l'un à l'autre. Les distances JA_1 et JA_2 sont égales. La lame S_p est inclinée à 45° par rapport aux normales à M_1 et M_2 . La longueur d'onde de la source vaut $\lambda_0 = 546,1nm$ 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 $e'=9,5 \mu m$ et d'indice $n = 1,5117$. Calculer la variation de l'ordre d'interférences au centre et les rayons des deux premiers anneaux brillants.

Rép : 1°) Teinte plate 2°) Michelson réglé en lame d'air 3°) Interférences localisées à l'infini 4°) $r_1 = 16,8mm$ et $r_2 = 27,9$ mm
 5°) Les nouveaux rayons : $r_1 = 19,5mm$ et $r_2 = 29,7$ mm

OP52 – Michelson et doublet du sodium



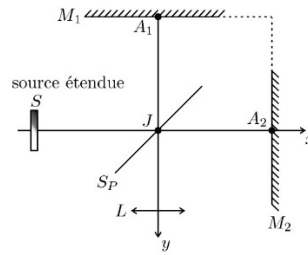
Un interféromètre de Michelson (est constitué par une lame semi réfléchissante, non absorbante, appelée séparatrice S_p dont les facteurs de transmission et de réflexion valent $1/2$, et de deux miroirs plans M_1 et M_2 perpendiculaires l'un à l'autre. Les distances JA_1 et JA_2 sont égales. La lame 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_1A_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 $d=0,15mm$. Expliquer le phénomène.
- 3°) Déterminer l'éclairement ε 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 $\Delta\lambda$.
- 4°) En déduire $\Delta\lambda$ en raisonnant sur les ordres de chaque système d'interférences A_1 au point A_1 .
- 5°) Calculer la longueur de cohérence de la lampe à vapeur de sodium. Interpréter.

Rép : 1°) Franges rectilignes parallèles à l'arête du coin d'air 2°) Anticoïncidence 3°) $C = \left| \cos\left(\frac{\pi\delta\Delta\lambda}{\lambda_m^2}\right) \right|$ 4°) $\Delta\lambda = 0,58nm$ 5°) $L_c = 0,59mm$

OP53 – Profil de raie rectangulaire



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 radiation utilisée est la raie rouge du cadmium à profil rectangulaire. On appelle A la densité spectrale de fréquence de l'éclairement. L'éclairement dû à la bande fréquence $[\nu, \nu + \Delta\nu]$, lorsque l'une des voies de l'interféromètre est occultée, est $Ad\nu$ pour une fréquence comprise entre $[\nu_0 - \frac{\Delta\nu}{2}, \nu_0 + \frac{\Delta\nu}{2}]$. ν_0 est la fréquence centrale de la raie correspondant à la longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 643,8 \text{ nm}$. 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_1A_2 et passant par A_2 .

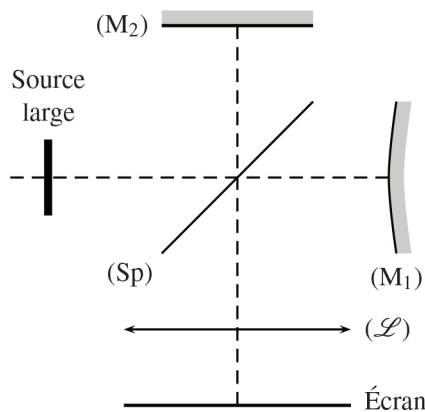
- 1°) Calculer la différence de marche et caractériser le système de franges.
- 2°) On translate le miroir M_2 de façon à faire défiler les franges. Le contraste s'annule la première fois au point A_1 pour $d = 15 \text{ cm}$. Calculer $\Delta\nu$.

3°) Calculer la longueur de cohérence et la durée moyenne d'un train d'onde. Conclusion.

Rép : 1°) $\delta = 2\alpha x$ 2°) $\Delta\nu = \frac{c}{2d} = 1,0 \text{ GHz}$ 3°) $L_c = \frac{c}{\Delta\nu} = 2d = 30 \text{ cm}$

OP54 – Interféromètre de Michelson avec miroir sphérique

On considère un interféromètre de Michelson comportant un miroir non parfaitement plan et assimilé à un miroir sphérique convexe (M_1) de rayon de courbure $R = 10,0 \text{ m}$. L'image (M_1') de ce miroir par la séparatrice est tangente au miroir plan (M_2), conformément au schéma ci-après. L'interféromètre est éclairé par une source étendue monochromatique de longueur d'onde $\lambda_0 = 630 \text{ nm}$. On observe la figure d'interférence dans le plan conjugué de (M_2) par rapport à la lentille L de courte focale. Ce plan est situé loin de la lentille (ce que ne montre pas la figure ci-dessous pour des raisons d'encombrement) et le grandissement transversal est $\gamma = 5$.



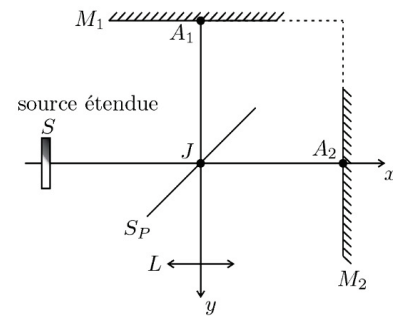
- 1°) Obtient-on des franges d'égale épaisseur ou d'égale inclinaison ?
- 2°) Déterminer les rayons des franges brillantes successives observées sur l'écran.
- 3°) Si les miroirs ont un diamètre de 2 cm , quelle est la valeur maximale du rayon de courbure que l'on peut détecter ?

Rép : 1°) Franges d'égales épaisseur 2°) $r_p = \sqrt{2R \frac{\lambda_0}{n_{air}} p}$ 3°) $R \leq \frac{n_{air} d^2}{2 \lambda_0}$

B – Exercices supplémentaires

OP55 – 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 $\lambda_0 = 546,1nm$ 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_1A_2 et passant par A_2 .



1°) 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.

2°) Comment faut-il placer la lentille L pour observer les interférences sur un écran ?

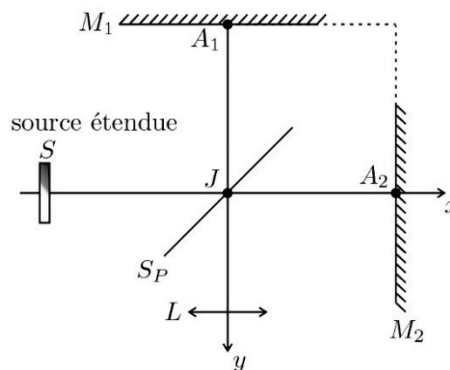
3°) Caractériser le système de franges et calculer numériquement la valeur de l'interfrange sur l'écran, sachant que le grandissement de la lentille est -4 .

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 ?

5°) On éclaire le coin d'air en lumière blanche avec $l=0$. 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 $n = 1,5117$. Indiquer un moyen de déterminer l'indice moyen de la lame connaissant son épaisseur.

Rép : 1°) Localisées sur les miroirs 2°) Conjugaison miroir/écran 3°) $i'=4i=3,75mm$ 4°) Elles se décalent de $-\frac{\lambda l}{\alpha}$ 5°) $x = \frac{(n-1)e'}{\alpha}$

OP56 – Détermination de l'indice de l'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 . On se place au contact optique. On fait tourner le miroir M_2 d'un angle $\alpha \ll 1$ autour d'un axe perpendiculaire JA_1A_2 et passant par A_2 . On utilise un laser avec un élargisseur de faisceau. La longueur d'onde dans le vide est $\lambda_0 = 632,8 nm$. On note n l'indice de l'air et μ sa masse volumique. L'air supposé parfait suit la loi de Gladstone :

$$\frac{n - 1}{\mu} = cste$$

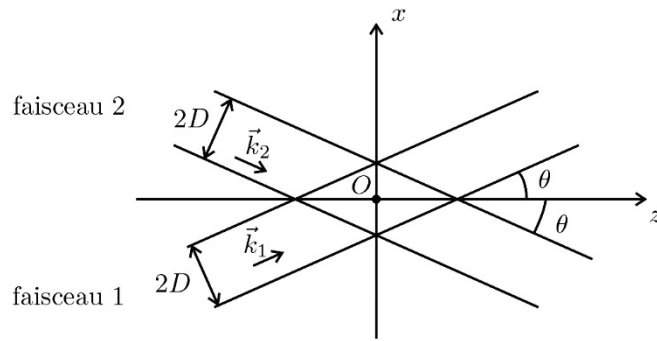
La pression atmosphérique vaut $1013 hPa$. Sur le trajet de l'un des faisceaux, on interpose une cuve à faces parallèles d'épaisseur $e=35 mm$. Avec une pompe à main, on crée une dépression de $900 hPa$. Avec une vis, on fait rentrer progressivement de l'air à température constante. On observe 29 franges qui défilent en un point de l'écran.

1°) Calculer la différence de marche sans la cuve et avec la cuve.

2°) En déduire l'indice de l'air.

Rép : 1°) $\delta = 2 n_{air} \alpha x$ et $\delta' = 2 n_{air} \alpha x - 2(n - n_{air})e$ 2°) $n_{air} = 1 + \frac{k P_F \lambda_0}{2e(P_F - P_I)} = 1,000295$

OP57 – Vélométrie Laser



La mesure de la vitesse d'un fluide peut s'effectuer directement par voie optique sans perturbation de l'écoulement. La recombinaison de deux faisceaux 1 et 2 issus d'un même laser crée une figure d'interférences dans un petit domaine de l'espace centré sur le point de mesure. Chaque faisceau est une onde plane progressive monochromatique de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 0,52 \mu\text{m}$. Lorsqu'une particule solide de petites dimensions, entraînée par l'écoulement, traverse cette figure, elle rencontre des zones alternativement brillantes et sombres. Éclairée par cette figure d'interférences, elle réémet par diffusion une onde lumineuse reçue par un détecteur. La différence de marche est nulle au point O. L'indice du milieu vaut $n=1,33$.

1°) Calculer la largeur AB de la figure d'interférences en $z = 0$ sachant que $2D = 1,0 \text{ mm}$ et $\theta = 5^\circ$.

2°) Calculer l'ordre d'interférences en un point M de la figure d'interférences. En déduire l'interfrange i et le nombre de franges brillantes contenues dans le champ en $z = 0$.

3°) Une particule se déplace à la vitesse $\vec{v} = v \vec{u}_x$. Calculer la vitesse de fluide sachant que la période du signal reçu par le détecteur vaut 50 ms.

Rép : 1°) $AB = \frac{2D}{\cos \theta} = 1,0 \text{ mm}$

2°) $i = \frac{\lambda_0}{2n \sin \theta} = 2,24 \mu\text{m}$ et 447 franges brillantes en $z=0$

3°) $v = \frac{i}{T} = 45 \mu\text{m s}^{-1}$