

1 Interféromètre en lame d'air

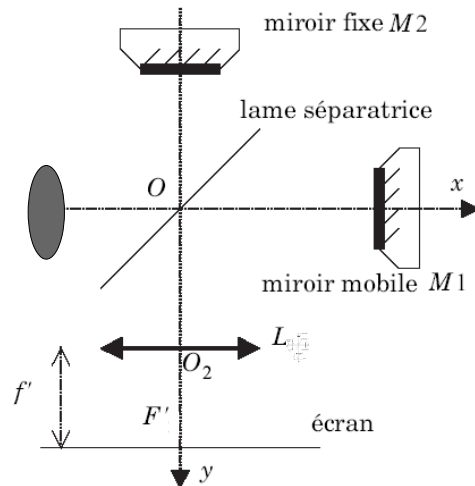


FIGURE 1 –

On étudie un interféromètre de Michelson éclairé par une source étendue et qui émet une lumière dont le spectre est formé d'une seule raie longueur d'onde centrale $\lambda = 550 \text{ nm}$.

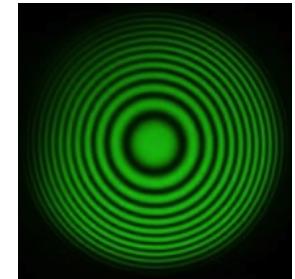
On observe la figure d'interférence sur un écran situé dans le plan focal image d'une lentille mince convergente L de distance focale image $f' = 50 \text{ cm}$ et d'axe Oy . L'ensemble est placé dans l'air, dont l'indice est pris égal à 1.

- 1) On observe des anneaux sur l'écran. En déduire l'orientation relative des deux miroirs. Pourquoi faut-il placer l'écran dans le plan focal image de la lentille ?
- 2) On suppose que $|\delta(M)| \ll \ell_c$ et on note e l'épaisseur optique.

- a) On relève le rayon du 1^{er} anneau sombre à partir du centre de la figure : $r_1 = 1,5 \text{ cm}$ et celui du 9^{ème} anneau sombre : $r_9 = 4,8 \text{ cm}$. Calculer numériquement e .
- b) Quel est le rayon du 2^{ème} anneau sombre ?
- c) On constate que l'intervalle entre les anneaux successifs se resserre quand on passe du centre au bord de la figure d'interférences. Expliquer ce phénomène.

2 Anneaux d'égalé inclinaison

Un interféromètre de Michelson est réglé en lame d'air. Il est éclairé par une lampe à vapeur de mercure devant laquelle on a placé un filtre isolant la raie verte de longueur d'onde dans le vide $\lambda = 546,1 \text{ nm}$. On supposera que l'on reste dans la zone de cohérence.



- 1) L'épaisseur optique est $e = 1,10 \text{ mm}$ et on observe les anneaux dans le plan focal image d'une lentille mince convergente de distance focale image $f' = 1,0 \text{ m}$. Calculer les rayons ρ_1 et ρ_2 des deux premiers anneaux brillants.
- 2) On diminue la valeur de e . Comment les anneaux évoluent-ils sur l'écran ? Calculer la valeur e' de e pour laquelle le premier anneau brillant disparaît. En déduire le rayon ρ'_1 du premier nouvel anneau brillant et le comparer à ρ_1 .

3 Mesure de l'épaisseur d'une lame de verre

On étudie un interféromètre de Michelson éclairé par une source ponctuelle S placée au foyer objet d'une lentille mince convergente.

Cette source émet une lumière monochromatique (1 seule raie) de longueur d'onde centrale $\lambda = 546 \text{ nm}$.

L'interféromètre est réglé en lame d'air d'épaisseur optique e . On observe l'intensité lumineuse sur un écran placé dans la zone de sortie. L'ensemble est placé dans l'air, dont l'indice est pris égal à 1.

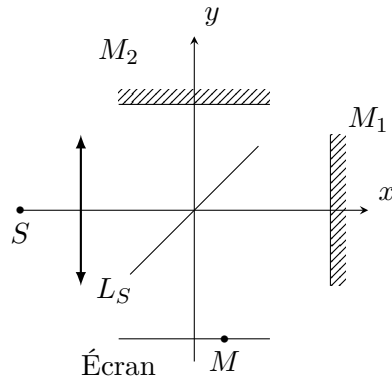


FIGURE 2 –

- 1) Tracer la marche des rayons lumineux qui viennent se superposer au point M de l'écran représenté sur la figure ci-dessus.
- 2) On suppose qu'on reste dans la zone de cohérence de la lumière utilisée. Les deux voies de l'interféromètre produisant la même intensité I_0 , quelle est l'expression de l'intensité $I(M)$ en fonction de I_0 , e et λ ? On déplace alors le miroir M_1 de façon à ce que son image par la séparatrice coïncide avec le miroir M_2 . Comment appelle-t-on cette configuration et quelle est la valeur de l'intensité sur l'écran?
- 3) Sans rien toucher eux réglages de la question précédente, on place maintenant sur la voie 1 de l'interféromètre une lame de verre transparente, à faces parallèles, d'indice $n = 1,5$ et d'épaisseur d .

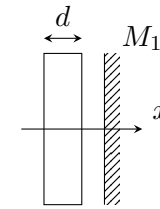


FIGURE 3 –

- a) Quelle est la différence de marche supplémentaire due à la lame?
- b) Quelle est la nouvelle intensité détectée sur l'écran? Dans le cas où cette intensité serait à nouveau minimale, serait-il possible de calculer l'épaisseur de la lame?
- c) On utilise un laser accordable (c'est à dire de longueur d'onde réglable) et l'intensité minimale et réalisée pour deux longueurs d'onde très voisines λ_a et λ_b .
On mesure $\lambda_a = 653 \text{ nm}$ et $\lambda_b = 691 \text{ nm}$. En déduire l'épaisseur de la lame.

4 Interféromètre réglé en coin d'air

Un interféromètre de Michelson est réglé en coin d'air et il est éclairé sous une incidence quasi-normale par une source placée dans le plan focal objet d'une lentille. L'épaisseur optique e est nulle et on utilise une lampe à vapeur de sodium dont on supposera que la lumière est quasi-monochromatique, de longueur d'onde centrale $\lambda = 589 \text{ nm}$.

On fait l'image des miroirs sur un écran à l'aide d'une lentille mince convergente. Les miroirs sont des disques de diamètre $D = 3 \text{ cm}$, leurs images des disques de diamètre $D' = 4 \text{ cm}$. On observe sur l'écran des franges d'interfrange $i' = 0,8 \text{ cm}$.

- 1) Que vaut l'angle α du coin d'air ?
- 2) On suppose qu'on reste dans la zone de cohérence. Combien de franges voit-on sur l'écran ?

5 Mesure d'un indice optique grâce au Michelson réglé en lame d'air

Sur un des bras d'un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air et éclairé par une lumière quasi-monochromatique de longueur d'onde centrale $\lambda = 638 \text{ nm}$, on intercale une cuve d'épaisseur $L = 1,6 \text{ cm}$, traversée par la lumière sous incidence normale.

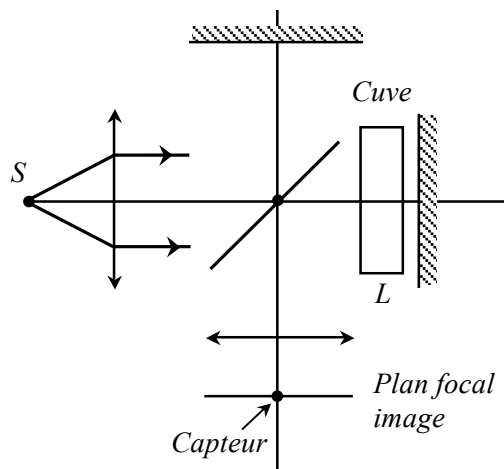


FIGURE 4 –

On fait le vide dans cette cuve, puis on laisse l'air entrer progressivement. Un capteur d'intensité, placé au centre des franges d'égale inclinaison, délivre une tension $u(t)$ proportionnelle à I et représentée sur la figure ci-dessous.

- 1) Pourquoi observe-t-on une oscillation de l'éclairement ?
- 2) Au cours du remplissage, l'indice n du gaz dans la cuve augmente à partir de 1 jusqu'à l'indice de l'air n_a . Compter le nombre d'oscillations et en déduire un encadrement de l'écart $n_a - 1$ entre l'indice de l'air et celui du vide.

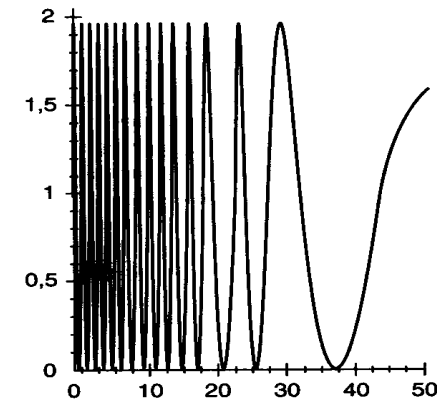


FIGURE 5 –

6 Spectrométrie par transformée de Fourier

On éclaire un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air d'épaisseur e avec une raie quasi-monochromatique, caractérisée par sa densité spectrale en fréquence :

$$\forall \nu \geq 0, J(\nu) = J_0 \exp\left(-\frac{(\nu - \nu_0)^2}{\nu_c^2}\right)$$

où ν_0 , J_0 et $\nu_c \ll \nu_0$ sont des constantes positives.

- 1) Faire un graphique rapide du profil spectral et déterminer sa largeur à mi-hauteur $\Delta\nu_{1/2}$ en fonction de ν_c .
- 2) On réalise un enregistrement de l'intensité lumineuse I dans le plan focal image d'une lentille mince convergente, en plaçant un détecteur ponctuel en F' , foyer image de la lentille et en faisant varier l'épaisseur e de la lame d'air, en déplaçant un des miroirs avec l'aide d'un moteur.

Établir l'expression de l'intensité $I(e)$ en fonction de constantes et de l'intégrale :

$$\hat{f}(x) = \int_0^{+\infty} J(\nu) \exp(2\pi i \nu x) d\nu$$

- 3) On suppose que $J(\nu)$ tend rapidement vers 0 lorsqu'on s'écarte de ν_0 , de sorte qu'on puisse étendre la borne inférieure de l'intégrale à $-\infty$ sans changer notablement le résultat. Sachant que :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(-\frac{u^2}{a^2}\right) \exp(iux) du = a\sqrt{\pi} \exp\left(-\frac{a^2x^2}{4}\right)$$

établir l'expression de $I(e)$ et tracer l'allure de son graphe pour $\Delta\nu_{1/2} \ll \nu_0$. Comment évolue la visibilité des franges ? Comment peut-on mesurer $\Delta\nu_{1/2}$? Quelle valeur de e doit-on pouvoir atteindre ?

7 lame de mica

On éclaire une lame de mica d'indice n et d'épaisseur e grâce à une source ponctuelle S quasi-monochromatique de longueur d'onde centrale λ . On observe la lumière réfléchiée dans le plan focal image d'une lentille convergente de focale f' .

Données : $n = 1,57$; $e = 8,0 \text{ mm}$; $f' = 50 \text{ cm}$; $\lambda = 0,590 \mu\text{m}$

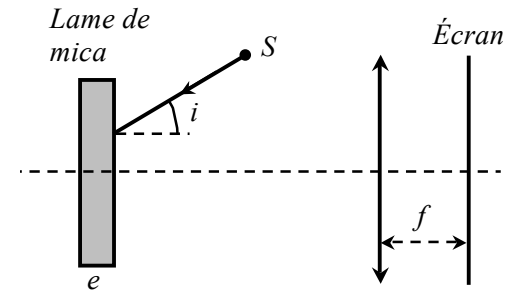


FIGURE 6 -

- 1) Faire un schéma représentant le trajet d'un rayon lumineux arrivant sur la lame avec un angle d'incidence i et qui se divise en deux rayons : le premier se réfléchissant sur la face avant de la lame et le second se réfléchissant sur la face arrière.

En quel point M du plan focal image de la lentille ces deux rayons vont-ils se rencontrer ?

- 2) Montrer que la différence de marche entre ces deux rayons s'écrit :

$$\delta(M) = 2ne \cos r$$

où r est l'angle de réfraction du rayon à l'intérieur de la lame. Quel est alors le déphasage $\Delta\varphi(M)$ entre ces deux ondes ?

- 3) On suppose $|\delta| \ll \ell_c$. Justifier que l'on observe des anneaux et calculer l'ordre d'interférence au centre (c'est à dire en F' : foyer image de la lentille). Quel sont les rayons des deux premiers anneaux brillants ?

On étudie maintenant une lame de mica beaucoup plus fine, d'épaisseur $e = 24 \mu\text{m}$. La source ponctuelle S émet une lumière "blanche" contenant toutes les longueurs d'ondes comprises entre

$\lambda_1 = 491 \text{ nm}$ et $\lambda_2 = 658 \text{ nm}$. On place l'ouverture d'entrée (ouverture circulaire de rayon très petit) d'un spectroscopie en F' , ce qui permet d'observer le spectre de la lumière réfléchi par la lame.

- 4) a) Expliquer que le spectre soit cannelé, c'est-à-dire qu'il comporte des bandes sombres pour certaines longueurs d'onde. Déterminer la relation liant les longueurs d'ondes correspondant aux bandes sombres aux caractéristiques de la lame.
- b) Quel est le nombre de cannelures sombres observées ?