

Dispositifs interférentiels à division d'amplitude

1. Montage lame d'air

Un interféromètre de Michelson est monté en lame d'air d'épaisseur $e = 1,0$ mm et est éclairé avec une source étendue monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 500$ nm. À la sortie de l'interféromètre, on place une lentille (\mathcal{L}_2) convergente de focale $f'_2 = 1,0$ m et on observe les franges dans son plan focal image.

1. Faire un schéma de l'interféromètre de Michelson.
2. Les franges d'interférences sont-elles localisées ? Si oui, où le sont-elles ?
3. Quelles sont les conditions d'éclairement de l'interféromètre ?
4. Établir l'expression de la différence de marche en un point M de l'écran repéré par la distance $\rho = F'_2M$ avec F'_2 le foyer image de la lentille de sortie.
5. On suppose que la frange centrale ($\rho = 0$) est brillante. Montrer que le rayon ρ_n de la nième frange brillante est proportionnel à \sqrt{n} et calculer ρ_1 .
6. On remplace la lumière monochromatique par la lumière émise par une lampe à vapeur de sodium dont le spectre présente un doublet de fréquences : $\lambda_1 = 589,0$ nm et $\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda = 589,6$ nm. Déterminer les épaisseurs e pour lesquelles on observe des antioïncidences sur l'écran.

2. Montage coin d'air

Un interféromètre de Michelson est monté en coin d'air d'angle $\alpha = 10^{-4}$ rad et est éclairé avec une source étendue monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 600$ nm placée dans le plan focal objet d'une lentille (\mathcal{L}_1) convergente de focale f'_1 . À la sortie de l'interféromètre, on place une lentille (\mathcal{L}_2) convergente de focale $f'_2 = 20$ cm à la distance $d = 25$ cm du miroir (M_2) et un écran à la distance D de la lentille (\mathcal{L}_2).

Si on repère un point M de (M_2) par son abscisse x par rapport à l'arête du coin d'air, la différence de marche vaut $\delta = 2\alpha x$.

1. Faire un schéma de l'interféromètre de Michelson.
2. Les franges d'interférences sont-elles localisées ? Si oui, où le sont-elles ?
3. Quelles sont les conditions d'éclairement de l'interféromètre ?
4. Déterminer l'expression de l'interfrange sur le miroir. Faire l'application numérique.
5. On donne les relations

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'} \quad \text{et} \quad \gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}.$$

Déterminer maintenant l'expression de l'interfrange sur l'écran. Faire l'application numérique.

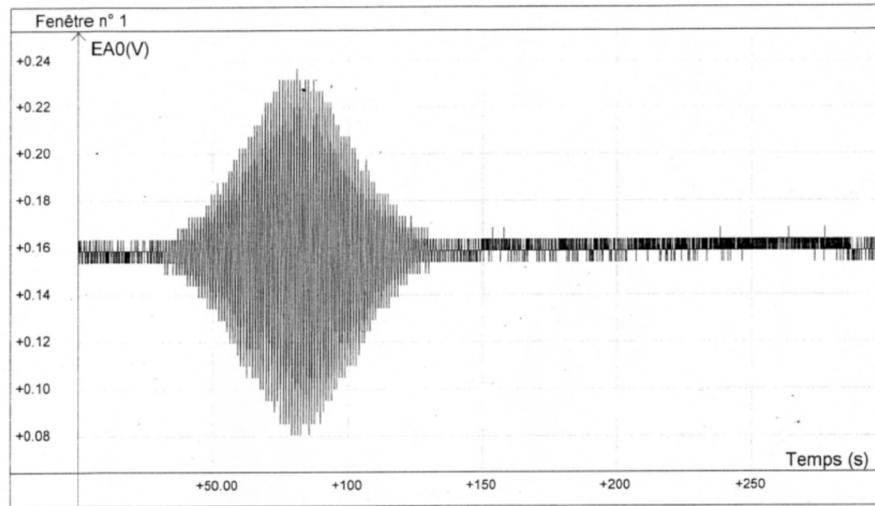
6. Qu'observerait-on sur l'écran si on remplaçait la lumière monochromatique par la lumière émise par une lampe à vapeur de sodium ? Proposer qualitativement le phénomène en jeu. Puis effectuer des applications numériques pertinentes pour déterminer si ce phénomène est effectivement observable ici. Le spectre d'une telle lumière présente un doublet de fréquences : $\lambda_1 = 589,0$ nm et $\lambda_2 = 589,6$ nm.
7. Déterminer les positions des antioïncidences sur l'écran.
8. Expliquer qualitativement ce qu'on observerait si on remplaçait la source lumineuse par une source de lumière blanche.

3. Largeur de bande d'un filtre

On cherche à mesurer la bande passante $\Delta\lambda$ d'un filtre optique jaune centré sur $\lambda = 570$ nm. On utilise pour cela un interféromètre de Michelson.

On place le filtre jaune derrière une source de lumière blanche et on éclaire un interféromètre de Michelson en configuration lame d'air. Le miroir mobile est charioté à vitesse constante à l'aide d'un moteur et l'on place une photodiode au centre de la figure d'interférences.

1. Qu'appelle-t-on longueur de cohérence ? Quelle condition la différence de marche doit-elle vérifier pour qu'on puisse observer des interférences ? Montrer que la longueur de cohérence L_C est de l'ordre de grandeur de $\frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$
2. Le signal de la photodiode est donné sur la figure ci-dessous. Au début de l'enregistrement, de durée totale 5 min, la vis micrométrique du Michelson indique $x_1 = 38,61$ mm. À la fin, $x_2 = 38,53$ mm. Interpréter la forme de ce signal. Déterminer $\Delta\lambda$.



4. Mesure de l'indice de l'air

Un interféromètre de Michelson est réglé de façon à observer des franges rectilignes avec une source monochromatique de longueur d'onde $\lambda_0 = 589$ nm. Sur l'une des voies, le faisceau traverse une cuve dont la longueur intérieure est $\ell = 1,00$ cm.

Un détecteur mesure l'intensité en un point fixe du champ d'interférences. Initialement, la cuve est vide, et le détecteur est placé sur un maximum d'intensité.

On fait entrer l'air dans la cuve, jusqu'à ce que la pression soit égale à la pression atmosphérique. On voit défiler alternativement 10 franges noires et 9 franges claires, et le détecteur indique finalement une intensité égale à la moitié de l'intensité maximale.

1. Expliquer comment il faut placer le détecteur si l'interféromètre est éclairé par une source étendue.
2. Déterminer l'indice de réfraction de l'air à la pression atmosphérique.

5. Détermination du doublet du mercure

On souhaite déterminer expérimentalement les caractéristiques du doublet jaune du mercure. On utilise pour cela un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air et éclairé par une lampe à vapeur de mercure munie d'un filtre jaune.

Le mercure possède un doublet de longueurs d'onde λ_1 et λ_2 dans le jaune. Pour simplifier, on fait l'hypothèse que ces deux composantes ont la même intensité lumineuse \mathcal{E}_0 et sont de largeur spectrale nulle.

On note $\lambda_m = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$ la longueur d'onde moyenne et $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ l'écart entre les deux longueurs d'onde. On a $\Delta\lambda \ll \lambda_m$, donc $\lambda_1 \simeq \lambda_2 \simeq \lambda_m$.

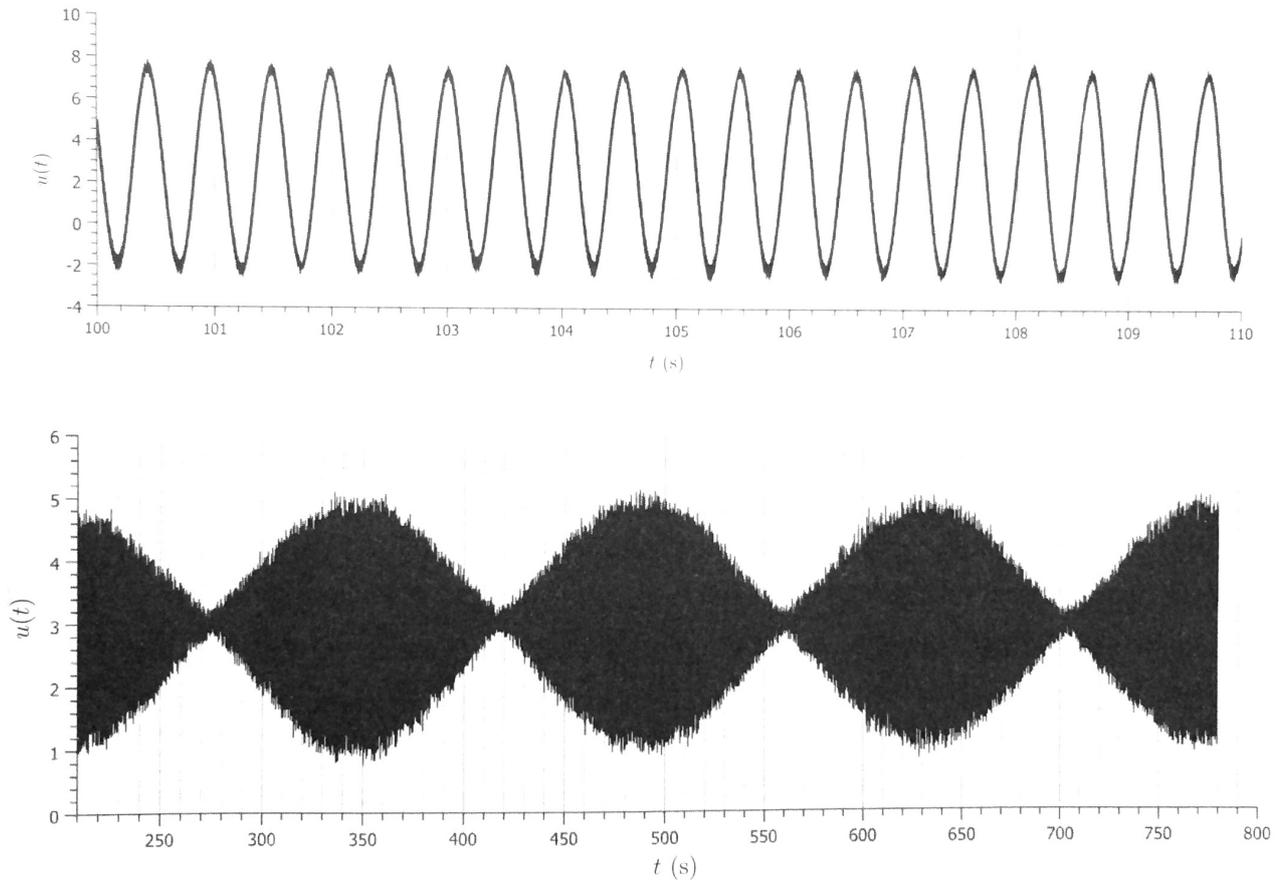
On place au centre O des anneaux un capteur de lumière de petite taille délivrant un signal u fonction affine de l'intensité lumineuse \mathcal{E} en O : $u = \alpha + \beta\mathcal{E}$. À l'aide d'un moteur, on translate le miroir mobile à vitesse constante $V = 0,56 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, ce qui permet de faire varier l'épaisseur de la lame d'air $e(t) = Vt$ en partant du contact optique à l'instant $t = 0$.

1. Montrer que l'intensité résultante en O s'exprime sous la forme

$$\mathcal{E}(t) = \mathcal{E}_0 \left[1 + \cos\left(\frac{\pi}{\Delta t}t\right) \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t\right) \right],$$

où T_0 et $\Delta t \gg T_0$ sont deux grandeurs homogènes à des temps, à exprimer en fonction de λ_m , $\Delta\lambda$ et V .

2. On donne les deux courbes suivantes qui représentent l'enregistrement obtenu, la première sur un temps court, la deuxième sur un temps long.



En exploitant ces courbes expérimentales, déterminer λ_m et $\Delta\lambda$.

3. En utilisant la deuxième figure, préciser si l'hypothèse sur l'intensité des deux composantes du doublet est vérifiée (justifier).

L'exploitation de la courbe aurait-elle été modifiée si cette hypothèse n'avait pas été valable ?

6. Rayon des anneaux

On considère un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air et éclairé par une lampe à vapeur de mercure. Un filtre permet d'isoler la raie $\lambda_0 = 546 \text{ nm}$.

1. Quelle est sa couleur ?
2. La distance relative entre les deux miroirs est $e = 1,1 \text{ mm}$. Que vaut l'ordre au centre de la figure d'interférence ?
3. Sachant que la lentille de projection possède la focale $f' = 1,0 \text{ m}$, calculer les rayons r des 5 premiers anneaux brillants.
4. On chariote le miroir M_2 de manière à diminuer e . Qu'observe-t-on sur l'écran ?
5. Pour cette mesure sur un interféromètre de Michelson usuel, e est mesurée avec une incertitude type élargie : $\Delta e = 5,8 \mu\text{m}$. Que penser des calculs de p et r effectués aux questions précédentes ?

7. Spectre cannelé en lame d'air

1. Quelle figure d'interférences observe-t-on sur l'écran en lumière monochromatique ?
2. Qu'observe-t-on quand on se rapproche du contact optique ?
3. À partir d'une position donnée, la lampe est remplacée par une lampe blanche. Le spectre en sortie d'interféromètre au centre de la figure est mesuré et comporte 20 cannelures. En déduire l'épaisseur e de la lame d'air.

4. Sur cet interféromètre, tourner la vis de chariotage d'un tour produit une translation de 0,500 mm. Pour atteindre le contact optique, de quel angle doit-on faire tourner la vis ? Est-ce facile ?