

TD 04

Interférences par division d'amplitude

A. Mesure de longueur d'onde avec les franges du coin d'air ____ • • •

Un interféromètre de MICHELSON est réglé en franges du coin d'air. Il est éclairé avec une lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda_1 = 632,8 \text{ nm}$.

Pour observer les franges, on place une lentille convergente de 200 mm de focale à une distance $OA = 23 \text{ cm}$ du miroir fixe.

1. Rappeler les conditions d'éclairage.
2. A quelle distance faut-il placer l'écran pour avoir une image nette des franges? Calculer le grandissement du montage?
3. Sur l'écran, on mesure un interfrange de 8,4 mm. Calculer l'interfrange i_1 sur le miroir.
4. En déduire l'angle du coin d'air.

En réalisant l'expérience avec une longueur d'onde inconnue λ_2 , on a évalué l'interfrange sur l'écran à 6,0 mm.

5. En déduire la valeur de la longueur d'onde λ_2 .

B. Mesure de l'épaisseur d'une lame transparente _____ • • •

Un interféromètre de MICHELSON a été utilisé avec un laser puis une lampe spectrale puis une source de lumière blanche de façon à connaître précisément la position du contact optique. Cette position est $x_0 = 6,940 \text{ mm}$. L'appareil est réglé de façon à voir les franges du coin d'air.

On intercale alors une lame transparente d'indice $n = 1,52$ dont on veut déterminer l'épaisseur e . Les franges ne sont plus visibles.

1. Pourquoi les franges ne sont-elles plus visibles? Le chemin optique et le chemin géométrique ont-ils été modifiés?
2. Écrire l'expression de la variation de différence de marche optique due à l'ajout de la lame transparente.

Il faut chariotter le miroir mobile et l'amener à la position $x_1 = 6,320 \text{ mm}$ pour que les franges soient à nouveau visibles.

3. Exprimer, en fonction de x_0 et x_1 , la variation de différence de marche entre les deux ondes qui interfèrent entre le début et la fin de l'expérience.
4. En déduire l'épaisseur de la lame transparente.

C. Anticoïncidences et doublet jaune du mercure _____ • • •

Le spectre d'émission du mercure contient de nombreuses raies, dont un doublet jaune de longueurs d'onde λ_1 et λ_2 distantes d'environ 2 nm. On note $\lambda = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$ la longueur d'onde moyenne et $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ l'écart spectral du doublet. Une lampe à vapeur de mercure suivie d'un filtre jaune approprié pour isoler le doublet jaune éclaire un interféromètre de MICHELSON réglé en lame d'air d'épaisseur e .

1. En approximant $\lambda_1\lambda_2 = \lambda^2$ exprimer l'intensité lumineuse au centre des anneaux sous la forme. Que représente la fonction $C(e)$?
2. Déterminer les épaisseurs e de la lame d'air donnant des interférences constructives au centre de l'écran.
3. Déterminer les épaisseurs e de la lame d'air donnant lieu à des anticoïncidences sur l'écran.
4. On dénombre 275 franges constructives entre deux annulations du contraste. La longueur d'onde moyenne a été déterminée en mesurant les rayons entre différents anneaux et vaut $\lambda = 578,05 \text{ nm}$. En déduire l'écart du doublet $\Delta\lambda$ et les valeurs des longueurs d'onde λ_1 et λ_2 .

D. Mesure d'un angle très petit

Un interféromètre de MICHELSON réglé en coin d'air est éclairé par une source monochromatique ($\lambda = 546 \text{ nm}$). Pour observer des franges nettes sur un écran, il faut ajouter une lentille de projection. L'écran étant situé à une distance $D = 1 \text{ m}$ derrière la lentille de projection de focale $f' = 20 \text{ cm}$, on observe alors des franges rectilignes d'interfrange $i = 3,5 \text{ mm}$.

1. Où sont localisées les interférences dans ce montage? Préciser la position de la lentille et de l'écran par rapport au lieu de localisation des franges.
2. Déterminer l'angle entre les deux miroirs. Calculer sa valeur numérique en minutes d'angle.

E. Anneaux avec un interféromètre de MICHELSON — Centrale 2007

L'interféromètre est éclairé par une source étendue réalisée à l'aide d'un diaphragme ayant la forme d'un disque de rayon R et d'axe (Ox) . Ce diaphragme intercepte une lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 550 \text{ nm}$. Il est placé dans le plan focal objet d'une lentille mince convergente $\mathcal{L}_1$ de focale $f'_1 = 10 \text{ cm}$ et d'axe (Ox) .

On observe la figure d'interférence sur un écran situé dans le plan focal image d'une lentille mince convergente $\mathcal{L}_2$ de focale $f'_2 = 50 \text{ cm}$ et d'axe (Oy) . L'ensemble est placé dans l'air, dont l'indice est pris égal à 1.

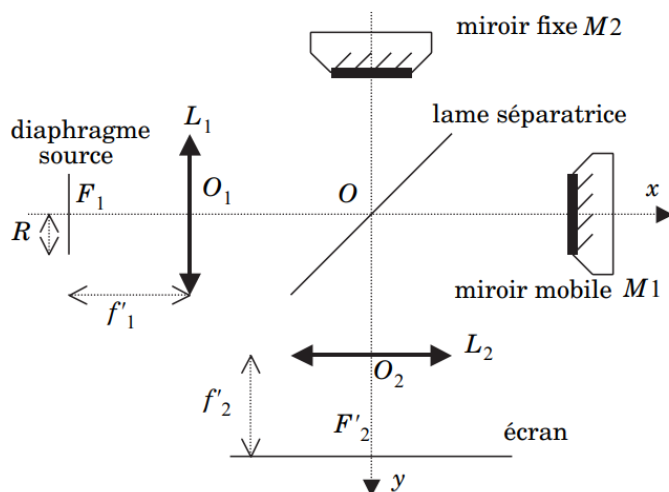


FIGURE 1 – Schéma du montage

1. On observe des anneaux sur l'écran. En déduire l'orientation relative des deux miroirs.
2. La zone éclairée de l'écran est un disque de rayon $R' = 5,0 \text{ cm}$. Que vaut R ?
3. On chariote le miroir M_1 -translation dans la direction (Ox) - jusqu'à l'obtention d'un éclairage uniforme sur l'écran. Comment s'appelle cette situation?

À partir de la position précédente, on chariote maintenant M_1 d'une distance e dans le sens des x croissants. On observe à nouveau des anneaux.

4. Établir l'expression de la différence de marche δ entre les deux ondes qui interfèrent en un point M de l'écran, repéré par l'angle i que fait O_2M avec l'axe (Oy) . On exprimera le résultat à l'aide de e et de l'angle i .
5. On relève le rayon du 1er anneau sombre à partir du centre de la figure : $r_1 = 1,5 \text{ cm}$ et celui du 9ème anneau sombre : $r_9 = 4,8 \text{ cm}$. Calculer numériquement e .
6. Quel est le rayon du 2ème anneau sombre?
7. 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.

On translate progressivement le miroir M_1 en accroissant e .

8. Prévoir en l'expliquant le sens de défilement des anneaux.
9. Expliquer comment évolue le nombre d'anneaux observables sur l'écran.

F. Rayons des anneaux

Un interféromètre de MICHELSON réglé en lame d'air à faces parallèles est éclairé par une source monochromatique ($\lambda = 546 \text{ nm}$). Pour observer les franges dites à l'infini, il faut ajouter une lentille et placer l'écran à une distance $D = f' = 1 \text{ m}$. La distance relative entre les deux miroirs est $e = 0,63 \text{ mm}$.

1. Quelle est la couleur de la radiation?
2. Déterminer l'ordre au centre.
3. Calculer les rayons des 5 premiers anneaux brillants.
4. On chariote le miroir M_2 afin de diminuer la distance e . Qu'observe-t-on sur l'écran?

G. Étude d'un interférogramme

1. On veut observer des franges circulaires (anneaux) avec un interféromètre de MICHELSON éclairé par une source monochromatique. Quel type de faisceau lumineux faut-il adopter en entrée de l'interféromètre? Comment faut-il régler les 2 miroirs M_1 et M_2 l'un par rapport à l'autre? Où doit-on placer l'écran d'observation; pourquoi?

La lentille utilisée à la sortie a une distance focale $f' = 1,0\text{ m}$ et la source émet une radiation de longueur d'onde $\lambda = 0,50\text{ }\mu\text{m}$. Partant du contact optique, on fait subir au miroir mobile une translation de longueur x variable. On réalise 3 photos (2a, 2b et 2c) pour 3 valeurs de x , où on estime que le centre correspond à un éclairement maximal.

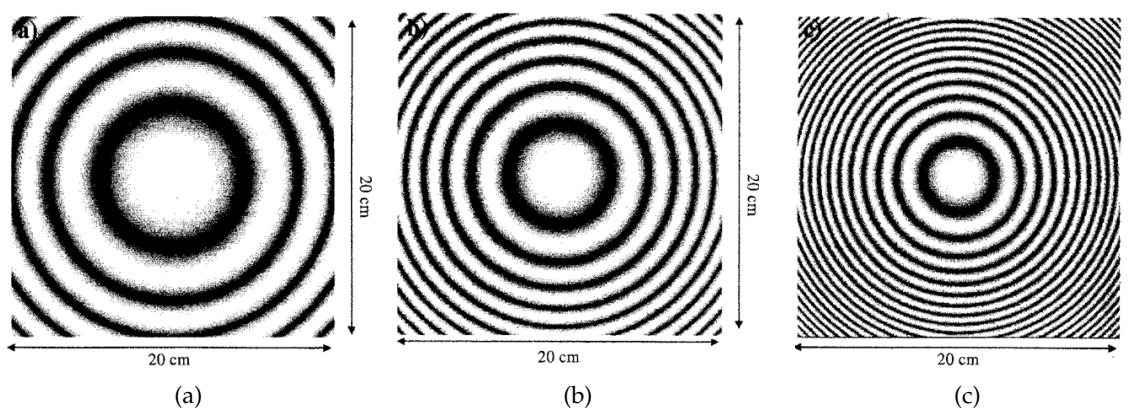


FIGURE 2 – Interférogrammes

2. Pour un rayon d'inclinaison i , déterminer la différence de marche en un point M de l'écran en fonction de x . (justifier à l'aide de schémas)
3. Déterminer le rayon du $k^{\text{ème}}$ anneau brillant (utiliser l'ordre au centre p_0 et un développement limité de $\cos$ et $\tan$ au 2 $^{\text{ème}}$ ordre).
4. Pour chacune des photos, déterminer l'ordre au centre p_0 et la distance x .

H. Mesure de la taille d'une déformation

On règle un interféromètre de MICHELSON pour observer les franges d'égale épaisseur avec une lampe au sodium supposée monochromatique de longueur d'onde $\lambda_0 = 0,590\text{ }\mu\text{m}$. On introduit devant un des miroirs une lame de verre à faces parallèles d'épaisseur e' et d'indice $n' = 1,50$ que l'on place parallèlement au miroir. On peut ainsi détecter les défauts d'indice ou d'épaisseur de la lame. La figure 3 montre la déformation des franges due à une bosse sur une lame en verre d'indice homogène.

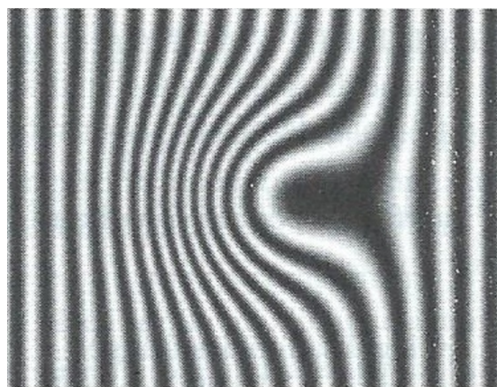


FIGURE 3 – Défaut sur une lame

Déterminer l'épaisseur du défaut présent sur cette lame.

Cette méthode est utilisée pour contrôler des éléments d'optique de haute précision. On peut facilement détecter un déplacement d'un dixième de frange, donc déceler un défaut de hauteur $\frac{\lambda_0}{10}$.

I. Interféromètre de MACH-ZEHNDER

On considère l'interféromètre de MACH-ZEHNDER représenté sur la figure 4. S est une source monochromatique de longueur d'onde λ placée au foyer d'une lentille mince convergente. G_1 et G_2 sont deux lames semi-réfléchissantes introduisant les mêmes déphasages. Elles sont inclinées à 45° par rapport à l'axe (Sx). M_1 et M_2 sont deux miroirs plans parallèles aux lames. La figure d'interférences est observée au moyen d'un oculaire.

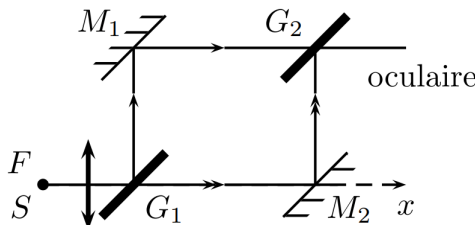


FIGURE 4 – Interféromètre de MACH-ZEHNDER

1. Dans la configuration du dessin, qu'observe-t-on dans l'oculaire ?
2. Même question si on interpose une lame à faces parallèles, non absorbante, d'indice N et d'épaisseur e sur le trajet M_1G_2 . La lame est disposée perpendiculairement au faisceau lumineux. Calculer la variation d'ordre pour $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$, $e = 0,1 \text{ mm}$ et $N = 1,50$.
3. Que se passe-t-il si on incline la lame d'un angle petit θ ? Quel est l'angle θ le plus petit détectable avec un récepteur capable de mettre en évidence une variation de l'ordre d'interférence de $\Delta p = 0,05$? On pourra utiliser le fait que, dans cette question, la différence de marche δ' vaut : $\delta' = (N - 1)e \left(1 + \frac{\theta^2}{2N}\right)$ (voir D TDO1).

J. Spectre cannelé

On dispose d'un interféromètre de MICHELSON réglé en configuration lame d'air éclairé par une source de lumière blanche.

1. Décrire le dispositif, notamment l'allure des franges d'interférences et la façon de les observer.

On règle l'interféromètre au contact optique, puis on insère dans l'un des bras de l'interféromètre un film alimentaire tendu, assimilé une lame à faces parallèles d'épaisseur e faite d'indice $n = 1,5$.

2. L'écran apparaît blanc dans les deux cas, cependant lorsqu'on observe le spectre en présence de la lame l'intensité est nulle pour certaines longueurs d'onde. Expliquer.
3. Montrer que pour une longueur d'onde absente du spectre on a

$$\frac{1}{\lambda} = \left(k + \frac{1}{2}\right) \frac{1}{\delta}$$

avec δ la différence de marche et k un entier.

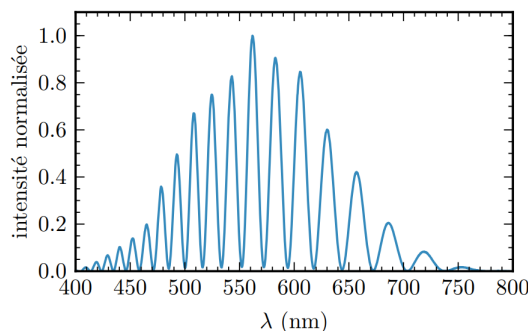


FIGURE 5 – Spectre enregistré au centre de la figure d'interférences

4. On enregistre le spectre (Figure 5) au centre de la figure d'interférences. En déduire l'épaisseur e du film alimentaire