

Optique

TD n°O3 Interférences par division d'amplitude : Interféromètre de Michelson

Exercice n°	§	1	2	3	4	5	6	7	8
Capacités									
En lame d'air									
Justifier les conditions d'observation des franges d'égale inclinaison, le lieu de localisation des franges étant admis.	II.1								
Établir et utiliser l'expression de l'ordre d'interférences en fonction de l'épaisseur de la lame, l'angle d'incidence et la longueur d'onde.	II.3								
Mesurer l'écart en longueur d'onde d'un doublet et la longueur de cohérence d'une radiation.	II.5.a)b)								
Interpréter des observations faites en lumière blanche.	II.5.c)								
En coin d'air									
Justifier les conditions d'observation des franges d'égale épaisseur, le lieu de localisation des franges étant admis.	III.2								
Utiliser l'expression donnée de la différence de marche en fonction de l'épaisseur pour exprimer l'ordre d'interférences.	III.3								
Caractériser la géométrie d'un objet ou l'indice d'un milieu à l'aide d'un interféromètre de Michelson.									
Interpréter des observations faites en lumière blanche	III.4								
Utiliser un critère semi-quantitatif de brouillage des franges dû à un élargissement spectral.	O2								

Parcours possibles

- ♪ Si vous avez des difficultés sur ce chapitre : 1, 2, 5 (Q1 à Q3)
- ♪ ♪ Si vous vous sentez moyennement à l'aise, mais pas en difficulté : 1, 2, 3, 5, 6
- ♪ ♪ ♪ Si vous êtes à l'aise : 3, 4, 6, 7, 8

Données

La différence de marche dépend de l'épaisseur locale du coin d'air : $\delta = 2n_0e(x) = 2n_0\alpha x$, avec x l'abscisse mesurée par rapport à l'axe d'intersection des miroirs.

I Exercices d'application

Exercice n°1 Michelson en lame d'air ♪

Considérons un interféromètre de Michelson réglé de telle sorte que l'on observe des anneaux avec une source étendue monochromatique ($\lambda = 600 \text{ nm}$). On souhaite observer ces anneaux sur un écran en utilisant une lentille convergente $\mathcal{L}$ placée à la sortie de l'interféromètre.

Q1. Préciser la position relative des miroirs.

Q2. Comment l'écran doit-il être placé par rapport à la lentille pour observer les interférences les mieux contrastées ?

On considère la famille de rayons issus de la source arrivant sur l'interféromètre avec un angle d'incidence i . On note n_0 l'indice de l'air.

- Q3. Établir l'expression de la différence de marche pour ces rayons.
- Q4. Montrer que tous ces rayons convergent en un même point de l'écran dont on exprimera la distance r par rapport à l'axe optique en fonction de la focale f' de la lentille et de i .
- Q5. On dispose de lentilles de distance focale 10, 50 et 100 cm. Laquelle donne la figure d'interférences la plus grande ?

Partant du contact optique, on translate l'un des miroirs de $5\ \mu\text{m}$.

- Q6. Quel est l'ordre d'interférence au centre de la figure ?
- Q7. Quel est l'ordre de l'anneau brillant de plus petit rayon que l'on observe sur l'écran ? En déduire son rayon, ainsi que celui de l'anneau brillant suivant.

Exercice n°2 Mesure de l'angle du coin d'air 🎵

Considérons un interféromètre de Michelson réglé de telle sorte que l'on observe des franges rectilignes avec une source étendue monochromatique ($\lambda = 600\ \text{nm}$). On dispose d'un laser, d'un condenseur, de polariseurs, de diaphragmes à iris, d'un écran, et de lentilles convergentes.

- Q1. Schématiser le montage permettant d'obtenir des raies lumineuses. Où les franges sont-elles observables ? Pourquoi parle-t-on de « franges localisées » ?
- Q2. La distance entre les miroirs et l'écran est égale à 1,80 m. Quelle est la valeur maximale de la distance focale utilisable ?
- Q3. On désire que l'interfrange sur l'écran soit dix fois plus grand que celui obtenu sur le miroir. Déterminer la distance focale à utiliser.
- Q4. On mesure sur l'écran un interfrange de 1 cm. En déduire la valeur de α .

Exercice n°3 Écart spectral du doublet du sodium 🎵 🎵

La lampe à vapeur de sodium émet principalement un doublet jaune (couleur de la lampe allumée). On note $\lambda_m = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$ la valeur moyenne de la longueur d'onde du doublet et $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ l'écart entre les longueurs d'onde de chaque raie.

- Q1. Rappeler les conditions d'éclairage du Michelson et d'observation des interférences dans la configuration « lame d'air ». Décrire les franges à l'écran.
- Q2. Donner l'ordre d'interférence pour une radiation monochromatique λ_0 au centre de la figure d'interférence.
- Q3. Lorsque l'on translate le miroir mobile, on observe un brouillage de la figure d'interférence périodique près du centre. Expliquer.

Du même côté de la teinte plate, les positions du miroir mobile $d = 3,24\ \text{mm}$ et $d' = 4,11\ \text{mm}$ correspondent à des brouillages. Entre ces deux positions, on comptabilise deux autres brouillages.

On note Δe le déplacement du miroir entre deux brouillages successifs.

- Q4. Exprimer Δe .
- Q5. 🎵 🎵 En déduire l'écart spectral $\Delta\lambda$ du doublet jaune du sodium, sachant que la longueur d'onde moyenne est de $\lambda_m = 589,3\ \text{nm}$.
- Q6. Pourquoi ne pas avoir considéré deux brouillages successifs ?

II Exercices d'approfondissement

Exercice n°4 Mesure de la longueur de cohérence d'une raie ♪ ♪

Un interféromètre de Michelson est réglé en lame d'air afin d'observer des anneaux dans le plan focal image d'une lentille convergente ($\mathcal{L}$). Une photodiode placée au foyer image F' de ($\mathcal{L}$) permet de réaliser un interférogramme, c'est-à-dire un enregistrement de l'intensité lumineuse au centre F' des anneaux en fonction de la différence de marche δ en F' . On fait varier δ sur un intervalle centré sur le contact optique et suffisamment étendu pour observer le brouillage de la figure d'interférences de part et d'autre du contact optique. L'interféromètre est éclairé par la raie verte d'une lampe à vapeur de mercure (elle est filtrée par un filtre de bande passante supérieure à la largeur de la raie).

Q1. Le miroir $\mathcal{M}_2$ de l'interféromètre est disposé sur un chariot permettant sa translation suivant $\vec{u}_x$ et nous notons x la position de $\mathcal{M}_2$, $x = 0$ correspondant au contact optique.

Exprimer δ en fonction de x .

1000 franges brillantes défilent lors d'un déplacement $x_m = 273 \mu\text{m}$ de $\mathcal{M}_2$ depuis le contact optique et les franges se brouillent lorsque le déplacement de $\mathcal{M}_2$ excède la valeur $x_{\text{max}} = 0,15 \text{ mm}$.

Q2. Déterminer la longueur d'onde moyenne λ_v de la raie.

Q3. En appliquant un critère semi-quantitatif à préciser, évaluer la largeur spectrale $\Delta\lambda_v$ de la raie.

Q4. Relier la longueur de cohérence temporelle ℓ_c à x_{max} . En déduire la longueur de cohérence de la source.

Exercice n°5 Épaisseur d'un film alimentaire ♪ ♪

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

Q1. Décrire le dispositif, notamment l'allure des franges d'interférences et la façon de les observer.

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

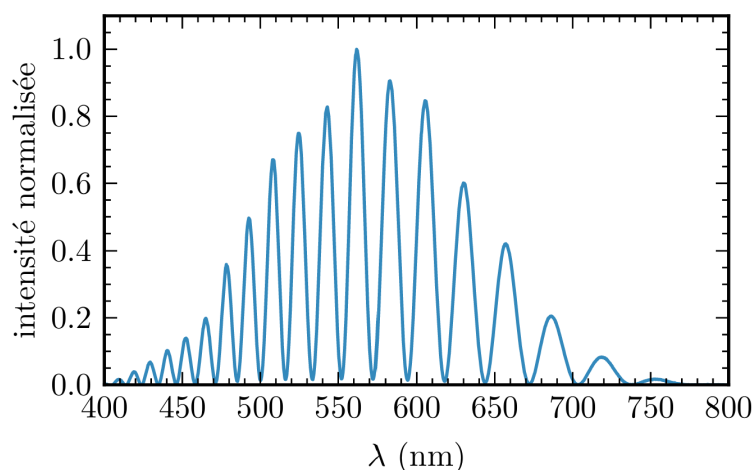
Q2. L'écran apparaît blanc dans les deux cas, cependant lorsqu'on observe le spectre en présence de la lame l'intensité est nulle pour certaines longueurs d'ondes. Expliquer.

Q3. Montrer que les longueurs d'onde absentes du spectre sont reliées à la différence de marche δ par

$$\lambda = \frac{2}{2j+1}\delta \quad \text{avec} \quad j \in \mathbb{N}$$

Q4. ♪ ♪ ♪ On enregistre le spectre au centre de la figure d'interférences (cf ci-contre).

En déduire l'épaisseur e du film alimentaire.



Exercice n°6 Mesure d'un indice optique ♪ ♪

Un interféromètre de Michelson est réglé de façon à observer des franges rectilignes avec une source monochromatique de longueur d'onde $\lambda_0 = 589 \text{ nm}$. Sur les deux voies, le faisceau traverse une cuve dont la longueur intérieure est $\ell = 1,00 \text{ cm}$. Un détecteur mesure l'éclairement en un point fixe du champ d'interférences.

Initialement, la cuve est vide, et le détecteur est placé sur un maximum d'éclairement. 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 un éclairement égal à la moitié de l'éclairement maximal.

On note n_0 l'indice optique de l'air à pression ambiante, et n l'indice optique de l'air à une pression plus faible et δ la différence de marche en l'absence de la cuve.

Q1. Comment est réglé l'interféromètre de Michelson ? Où sont localisées les interférences ? Comment les observer ? Comment faut-il placer le détecteur ?

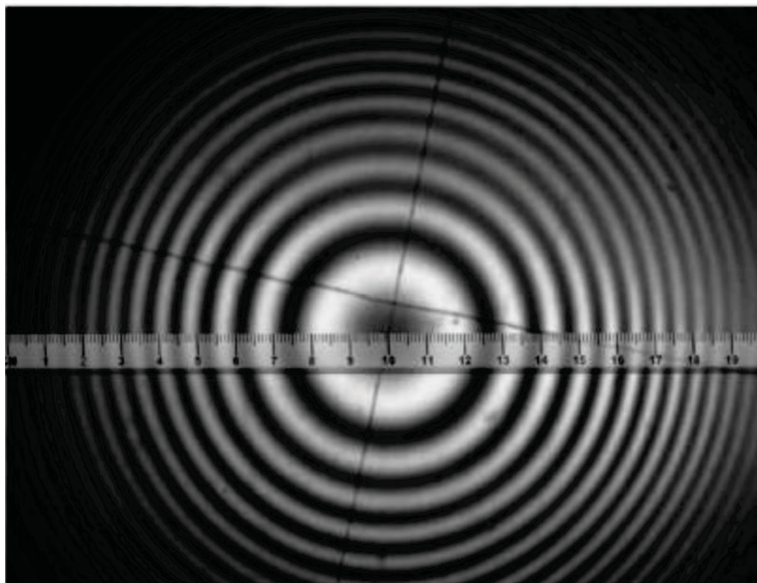
- Q2. Exprimer la différence de marche δ' quand on est en train de faire le vide en fonction de δ , ℓ , n et n_0 .
- Q3. Exprimer la variation de l'ordre d'interférence entre le début et la fin de l'expérience en fonction de ℓ , λ_0 et $n_0 - 1$.
- Q4. 🎵 🎵 🎵 Déterminer un encadrement (numérique) de la variation de l'ordre d'interférence en un point M de l'écran.
- Q5. 🎵 🎵 🎵 Déterminer l'écart entre l'indice de l'air et l'indice du vide.

III Résolutions de problème

Exercice n°7 Épaisseur de la lame d'air 🎵 🎵 🎵

Un interféromètre est éclairé en lumière monochromatique, la raie verte du mercure de longueur d'onde $\lambda = 546 \text{ nm}$.

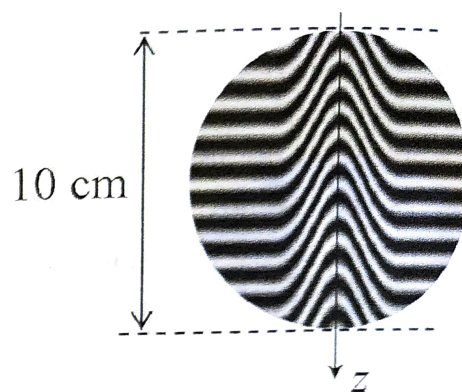
Déterminer l'épaisseur de la lame d'air.



Exercice n°8 Jet de gaz 🎵 🎵 🎵

À l'aide d'un briquet non allumé, on réalise un jet de gaz d'indice n_g a voisinage d'un des miroirs de l'interféromètre de Michelson réglé en coin d'air. La figure ci-contre représente les interférences obtenues avec une source étendue en lumière monochromatique de longueur d'onde 589 nm , dans des conditions telles que l'épaisseur du coin d'air augmente avec z . La projection sur l'écran est réalisée avec une lentille de distance focale $f' = 20 \text{ cm}$, placée à la distance $D = 1,2 \text{ m}$ de l'écran.

Déterminer l'indice n_g du gaz.



Données

Indice de l'air : $n_{\text{air}} = 1,000\,29$

Exercice n°9 Teinte d'une flaque d'huile 🎵 🎵 🎵

Une goutte d'huile est déposée sur une flaque d'eau. Elle s'étale en surface et forme une mince couche dont on supposera l'épaisseur e constante. L'indice de réfraction de l'huile est $n = 1,5$ supérieur à celui de l'eau (1,33). Un observateur regarde un reflet du Soleil, en se plaçant quasiment à la verticale de cette flaque, il observe une teinte magenta (teinte complémentaire du vert).

Estimer l'épaisseur e minimale de la couche d'huile donnant cette teinte. Commenter.

Données —

- Dans le cas d'une réflexion sur un milieu plus réfringent l'onde subit un déphasage de π .
- Il n'y a pas de déphasage dans le cas d'une réflexion sur un milieu moins réfringent ou lors d'une transmission.