

Programme d'interrogation orale

- Connaître les deux configurations du Michelson : lame d'air et coin d'air, et savoir comment éclairer les miroirs de manière optimale dans chaque cas.
- Savoir établir la différence de marche en coin d'air ($\delta = 2\alpha x$) et en lame d'air ($\delta = 2e \cos(i)$), et savoir en déduire l'allure des franges, ainsi que la position des franges brillantes ou sombres.

Exercice 1 – Figure d'interférences en lame d'air**Difficile 1 – Original 1**

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 L placée à la sortie de l'interféromètre.

1. Préciser la position relative des miroirs.
2. Comment l'écran doit-il être placé par rapport à la lentille pour observer les interférences les mieux contrastées ?
3. On considère la famille de rayons issus de la source arrivant sur l'interféromètre avec un angle d'incidence i . Établir l'expression de la différence de marche pour ces rayons.
4. 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 .
5. On dispose de lentilles de distance focale 10, 50 et 100 cm. Laquelle donne la figure d'interférences la plus grande ?
6. Partant du contact optique, on translate l'un des miroirs de $5 \mu\text{m}$. Quel est l'ordre de l'anneau brillant de plus petit rayon que l'on observe sur l'écran ?
7. Calculer le rayon sur l'écran des trois premiers anneaux brillants.

Exercice 3 – Mesure de l'écart spectral du doublet du sodium**Difficile 2 – Original 1**

Le spectre d'émission du sodium se compose d'un unique doublet jaune dont les raies ont même luminosité et des longueurs d'onde λ_1 et λ_2 . Par spectroscopie à réseau, on peut mesurer sa longueur d'onde moyenne avec une bonne précision à $\lambda = 589,3 \pm 0,1 \text{ nm}$, mais l'écart de longueur d'onde $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ ne peut qu'être estimé à $0,6 \pm 0,1 \text{ nm}$. Pour améliorer la précision relative sur la mesure de $\Delta\lambda$, on peut utiliser un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air et mesurer l'intensité lumineuse au centre des anneaux en y plaçant une photodiode. On note e l'épaisseur de la lame d'air.

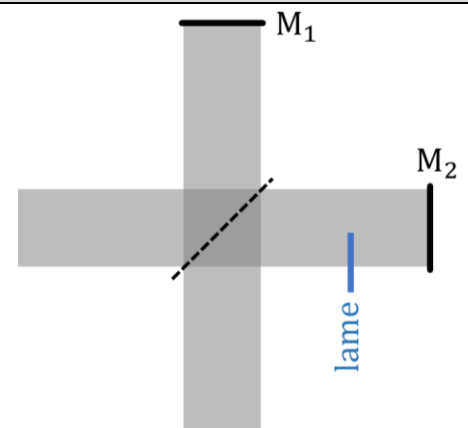
1. Montrer que l'intensité lumineuse reçue par la photodiode s'écrit : $I = I_0 \left(1 + \Gamma(e) \cos\left(\frac{4\pi e}{\lambda_0}\right) \right)$, où $\Gamma(e)$ est une fonction à définir. Que représente cette fonction ?
2. En déduire qu'en charriotant le miroir mobile de l'interféromètre, on observe périodiquement des interférences de très bon et très mauvais contraste, appelées **coïncidences** et **anti-coïncidences**.
3. À l'aide du vernier, on mesure qu'il faut charrioter le miroir de $0,29 \text{ mm}$ pour passer d'une anti-coïncidence à la suivante. En déduire l'écart de longueur d'onde $\Delta\lambda$.

Exercice 3 – Mesure de l'indice optique d'une lame de verre**Difficile 2 – Original 1**

Considérons un interféromètre de Michelson réglé en coin d'air et éclairé en lumière blanche. On interpose une lamelle de microscope dans le bras (2) de l'interféromètre de telle sorte qu'elle ne recouvre que la moitié du faisceau. Cette lamelle a une épaisseur $e = 0,16 \text{ mm}$ mesurée au palmer, et on cherche à déterminer son indice n .

Partant des franges de lumière blanche côté air (photo de gauche ci-dessous), le miroir mobile (M_2) est translaté jusqu'à les retrouver côté lame de verre (photo de droite ci-dessous). On lit sur le vernier qu'il a été déplacé de $\Delta x = 80 \mu\text{m}$ pendant l'opération.

On note δ_a la différence de marche entre le rayon passant par la voie (1) et celui passant par la voie (2) côté air, sans traverser la lame ; et δ_l celle entre le rayon passant par la voie (1) et le rayon traversant la lame sur la voie (2).



1. Exprimer la différence de chemin optique δ_1 en fonction de δ_a , n et e .
2. Dans la première situation, les franges sont observées côté air. Que vaut δ_a sur la frange centrale ? En déduire δ_1 .
3. Dans la seconde situation, les franges sont observées côté lame. Le miroir M_2 a-t-il été rapproché ou éloigné de la séparatrice ? Que vaut δ'_a ? Que vaut δ'_1 ?
4. Conclure sur la valeur de n .



Exercice 4 – Épaisseur d'un papier cellophane

Difficile 3 – Original 2

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

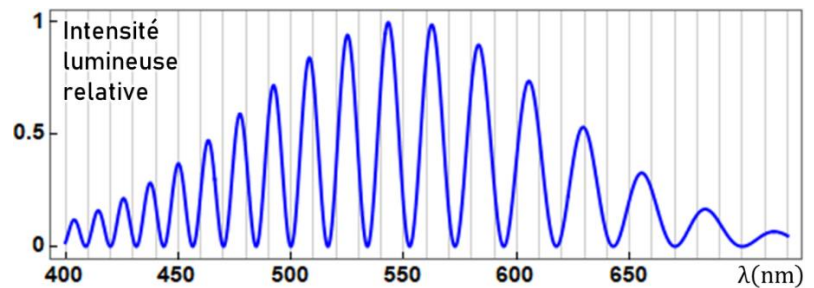
1. Décrire le dispositif, notamment l'allure des franges d'interférences et la façon de les observer.

On règle 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 , fabriquée dans un matériau polymère d'indice optique $n = 1,5$.

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'ondes. Expliquer.

3. Montrer que pour une longueur d'onde absente du spectre on a $\frac{1}{\lambda} = \frac{2k+1}{2} \cdot \frac{1}{\delta}$, avec δ la différence de marche et $k \in \mathbb{N}$.

4. Le spectre obtenu par un spectromètre placé au centre de la figure d'interférences est représenté ci-contre. En déduire l'épaisseur e du film alimentaire



Exercice 5 – Mesure de l'angle d'un coin d'air

Difficile 2 – Original 2

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 souhaite observer ces franges sur un écran placé à $1,80 \text{ m}$ des miroirs en utilisant une lentille convergente placée à la sortie de l'interféromètre.

On rappelle qu'en configuration coin d'air la différence de marche sur la surface de localisation est donnée par $\delta = 2\alpha x$ avec α l'angle entre les miroirs et x l'abscisse mesurée le long des miroirs à partir de l'arête du coin d'air.

1. Quelle est la valeur maximale de la focale utilisable ?
2. On désire que l'interfrange sur l'écran soit dix fois plus grand que celui obtenu sur le miroir. Quelle distance focale à utiliser ?
3. On mesure sur l'écran un interfrange de 1 cm . En déduire la valeur de α .

Exercice 6 – Spectroscopie par transformée de Fourier

Difficile 2 – Original 3

On considère un interféromètre de Michelson en lame d'air, éclairé par une lampe au mercure dont on isole par un filtre la raie verte de longueur d'onde λ .

1. Représenter l'interféromètre et préciser la localisation des franges. Justifier qu'il s'agit d'anneaux.
2. On déplace le miroir mobile de 2λ . Qu'observe-t-on ?

Le miroir mobile est motorisé, et se déplace avec une vitesse constante $v_0 = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. On place un photodétecteur au centre de la figure d'interférences, il renvoie une tension image de l'éclairement de la forme $u(t) = U_0 + U_1 \cos(\omega t + \varphi)$.

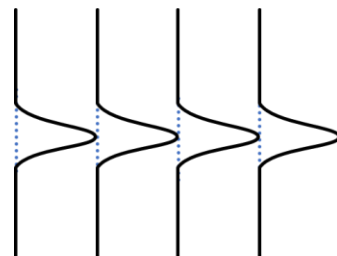
3. Justifier l'expression de u et exprimer ω en fonction de v_0 et λ .
4. On décide de numériser le signal. Quelle précaution faut-il prendre ?
5. Une transformée de Fourier numérique de u donne un pic à la fréquence $f = 3,7 \text{ Hz}$. En déduire λ .

Exercice 7 – Mesure expérimentale de l'indice d'un gaz**Difficile 2 – Original 3**

On souhaite mesurer l'indice optique d'un gaz en utilisant un interféromètre de Michelson. On dispose d'un laser, d'un condenseur, de polariseurs, de diaphragmes à iris, d'un écran, et de quatre lentilles de focales respectives 20 cm, 100 cm, 5 cm et -30 cm.

1. Quelle configuration de l'interféromètre permet d'obtenir des raies lumineuses ? Proposer une manière d'obtenir un faisceau large et parallèle entrant dans l'interféromètre. Où les franges sont-elles observables ? Pourquoi parle-t-on de « franges localisées » ?
2. La distance entre les miroirs et l'écran est égale à 2 m. En déduire la lentille à utiliser et sa position.

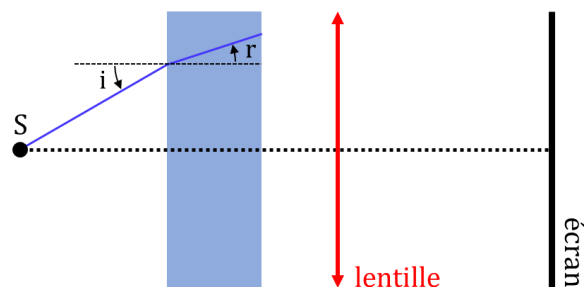
Les miroirs forment un angle α . On rappelle que la différence de chemin optique vaut $\delta(x) = 2\alpha x$, avec x l'abscisse mesurée par rapport à l'axe d'intersection des miroirs. On fait alors passer un flux de gaz de diamètre $d = 1$ mm entre la séparatrice et l'un des miroirs, perpendiculairement au trajet des rayons lumineux. Les franges prennent l'allure ci-contre.



3. Déterminer la nouvelle différence de chemin optique δ' . En déduire l'écart Δn entre l'indice du gaz et celui de l'air.

Exercice 8 – Interférences sur une lame de verre**Difficile 3 – Original 3**

Considérons le montage ci-contre, constitué d'une source spatialement étendue, d'une lame de verre (indice n , épaisseur e), d'une lentille et d'un écran. On considère qu'après quatre traversées dans la lame de verre l'intensité est négligeable.



1. Quelles sont les deux ondes qui interfèrent ? Justifier que la figure d'interférences est un cercle centré autour de l'axe optique (en pointillés).
2. Dans un interféromètre de Michelson en lame d'air, où les interférences sont-elles localisées ? En déduire par analogie la lentille à utiliser et la position de l'écran par rapport à la lentille.
3. Montrer que la différence de marche pertinente est $\delta = 2ne \cos(r)$.
4. En supposant les rayons peu inclinés, exprimer l'ordre d'interférences $p(M)$ en fonction de $R = OM$.
5. Déterminer le rayon du premier anneau brillant pour une épaisseur $e = 10 \mu\text{m}$ et $f' = 20$ cm (on prendra des valeurs « classiques » pour les autres grandeurs nécessaires).