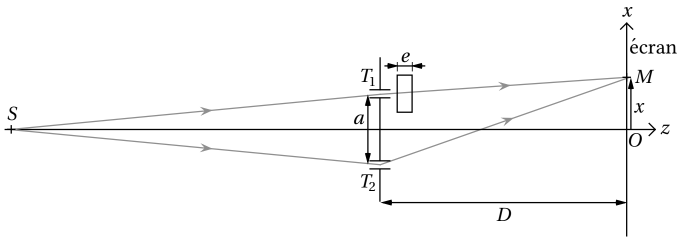
Colle n° 14 : Optique 4

Exercice 1 - Mesure de l'épaisseur d'une lame de verre : On considère un dispositif de trous de Young composé de deux trous T_1 et T_2 séparés d'une distance $a = 100\,\mu\text{m}$. Ce dispositif est éclairé par une source ponctuelle S monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 532\,\text{nm}$ située sur l'axe optique. La figure d'interférence est observée sur un écran situé à une distance $D = 1.00\,\text{m}$ du plan des trous. Une lame de verre à faces parallèles d'épaisseur e inconnue et d'indice $n_v = 1.57$ est positionnée en sortie du trou T_1. L'indice optique de l'air est supposé égal à 1. Dans toute la suite, on se place dans l'approximation paraxiale $x, a \ll D$ et on suppose que $e \ll D$ si bien qu'en première approximation, on considère que le rayon lumineux traverse la lame perpendiculairement à ses faces.



1. Montrer que la différence de marche δ_M en un point M de l'écran s'écrit $\delta_M = \dfrac{ax}{D} - (n_v - 1)e$.
2. Déterminer la position x_c sur l'écran de la frange centrale correspondant à $\delta_M = 0$. De quelle distance s'est déplacée cette frange par rapport au cas où la lame est absente ?
3. Exprimer l'épaisseur e de la lame en fonction de x_c, a, n_v et D.
4. Calculer e pour $x_c = 28.5\,\text{cm}$.
5. Expliquer pourquoi en réalité la position de la frange centrale ne peut être connue que modulo l'interfrange i. Qu'est-ce que cela implique sur e ? L'expérience vous paraît-elle réalisable ?

Exercice 2 - Étoiles et fentes d'Young : On considère deux étoiles à l'infini faisant entre elles un angle α très faible, de même éclairement E_0, de même longueur d'onde. La lumière est diffractée par deux fentes S_1 et S_2 identiques, distantes de a et très fines. Un écran est placé dans le plan focal d'une lentille convergente de distance focale f' située après les fentes d'Young. Le dispositif de Michelson et Pease permet de faire varier la distance a.

1. Faire un schéma du problème.
2. Calculer l'éclairement dû à chaque étoile en un point M de l'écran puis en déduire l'éclairement total.
3. Déterminer le contraste de la figure d'interférences et en déduire pour quelles valeurs de a on observe le brouillage de la figure d'interférences.
4. Dans le cas de Capella, pour $\lambda_0 = 635\,\text{nm}$, la plus petite valeur de a annulant le contraste vaut $116.5\,\text{cm}$. En déduire l'écart angulaire α entre les deux étoiles du système.

Exercice 3 - Lame à face parallèle : On considère une lame de verre d'indice $n = 1.5$ et d'épaisseur e. On considère un rayon incident faisant un angle d'incidence i avec la normale à la lame.

1. Réaliser un schéma du dispositif et indiquer pourquoi il s'agit d'une interférence à N ondes.
2. Montrer que la différence de marche entre deux rayons vaut $\delta = 2ne\cos r$ avec r l'angle de réfraction du rayon dans la lame.

L'amplitude d'une onde incidente est divisée entre l'onde réfléchie et l'onde transmise. On note ρ le coefficient de réflexion de l'amplitude de l'onde et on admet qu'il vaut $\rho = \dfrac{n-1}{n+1}$ pour une lame dans l'air avec n l'indice optique du verre. On note τ le coefficient de transmission de l'amplitude de l'onde.

3. Quelle est la relation entre τ et ρ ?
4. Numériquement, que vaut ρ ? Que peut-on en déduire ?

5. Montrer que, dans ce cas, l'amplitude totale de l'onde en sortie de lame vaut

$$I(\Delta\varphi) = \frac{I_0}{1 + F\sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)}$$

avec $\Delta\varphi$ le déphasage entre deux ondes transmises, I_0 une constante à déterminer en fonction de ρ et a_1 l'amplitude de la première onde et F une constante à déterminer en fonction de ρ. Donner la valeur numérique de F.

On place maintenant une lentille convergente de focale f' derrière la lame et on place l'écran sur le plan focal image de celle-ci.

6. Justifier que la figure d'interférences est constituée d'anneaux concentriques.
7. Donner le rayon de l'anneau d'ordre k.

Exercice 4 - Interfranges en coin d'air : Un interféromètre de Michelson est réglé pour donner les franges du coin d'air, la différence de marche au centre des miroirs est nulle. La source est monochromatique de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 0.5893\,\mu\mathrm{m}$.

On souhaite opérer sous incidence quasi-normale et observer les franges dans un écran E. On dispose pour cela de deux lentilles convergentes L_1 et L_2 de même distance focale $f' = 0.20\,\mathrm{m}$.

1. Faire un schéma permettant d'observer les interférences sur l'écran.
2. L'écran E est placé à $D = 1\,\mathrm{m}$ de la lentille L_2. L'interfrange mesurée sur l'écran est $i = 5\,\mathrm{mm}$. Calculer l'angle α du coin d'air.
3. Comment peut-on s'assurer que la différence de marche est nulle au centre ?

Exercice 5 - Interférences en lumière blanche : On règle un interféromètre de Michelson de sorte que les deux miroirs M_1 et M_2 soient rigoureusement orthogonaux entre eux. L'image M_2' est alors rigoureusement parallèle à M_1.

Le miroir M_2 est monté sur un chariot permettant de le déplacer parallèlement à lui-même ; la position de ce chariot est repérée par son abscisse x comptée à partir d'une origine arbitraire. Cette abscisse augmente lorsque le miroir s'éloigne de la séparatrice.

À la sortie, on dispose une lentille convergente L et on enregistre l'intensité lumineuse grâce à un détecteur placé au foyer F' de cette lentille, détecteur dont l'entrée est limitée par un diaphragme de très petite dimension. L'indice de l'air est ici assimilé à celui du vide.

L'ensemble est éclairé par une source S supposée assez large pour que des rayons de différentes inclinaisons pénètrent dans l'interféromètre. Au besoin, on intercale une lentille convergente entre S et l'interféromètre. La source émet de manière uniforme dans un intervalle de fréquence (ν_1, ν_2). L'intensité émise dans une bande élémentaire de largeur $\mathrm{d}\nu$ appartenant à cet intervalle est proportionnelle à $\mathrm{d}\nu$. Chaque bande élémentaire est incohérente avec les autres.

1. Montrer que l'intensité totale en F' peut se mettre sous la forme $I(\delta) = I_0(1 + f(\delta))$ avec f une fonction que l'on précisera.

Cette source est en fait une source de lumière blanche ; les longueurs d'onde qui limitent le spectre sont 400 nm et 650 nm.

2. Tracer I/I_0 en fonction de δ, celui ci variant entre $-2\,\mu\mathrm{m}$ et $+2\,\mu\mathrm{m}$.
3. En déduire une méthode de réglage de l'interféromètre en épaisseur nulle.

On fixe la différence de marche δ à une valeur supérieure à $2\,\mu\mathrm{m}$.

4. Qu'observe-t-on en F' ?

On place derrière F' un spectroscope dont F' constitue la fente d'entrée.

5. Montrer que l'on obtient un spectre cannelé et évaluer le nombre N de bandes sombres visibles en fonction de δ.
6. Comment utiliser cette mesure pour s'approcher du contact optique ?