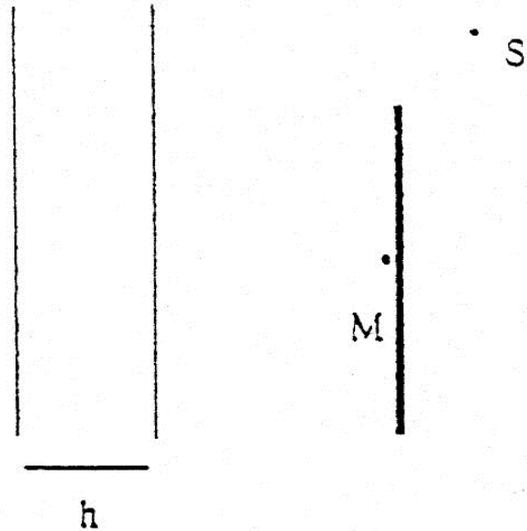


TD O4 : EXEMPLE DE DISPOSITIF INTERFERENTIEL PAR DIVISION D'AMPLITUDE : INTERFEROMETRE DE MICHELSON

Exercice 1 : Interférences produites par une lame à faces parallèles

Une source ponctuelle monochromatique S de longueur d'onde dans le vide λ illumine un système de deux lames de verre à faces parallèles, parallèles entre elles, distantes de h et d'épaisseur négligeable devant h .



1-a) Montrer que les rayons réfléchis sur la face d'entrée correspondent au même trajet optique (depuis la source jusqu'à un point M situé du même côté de la première lame que S) que s'ils provenaient d'une source ponctuelle S_1 . Donner la position de cette source S_1 .

b) De même, situer la source S_2 qui joue le même rôle pour les rayons transmis par la première lame, réfléchis par la seconde et à nouveau transmis par la première.

c) S_1 et S_2 sont-elles des sources cohérentes ?
Que vaut la distance $d = S_1S_2$?

2) On considère un point M à distance finie, situé du même côté de la première lame que S . A quelle condition sur les distances S_1M et S_2M et sur λ y-a-t-il interférence constructive en M ?
Observe-t-on des structures interférentielles en disposant un écran comme sur le schéma ? Si non, pourquoi, si oui, lesquelles ? Peut-on mettre en œuvre ici les calculs déjà faits pour les trous d'Young ?

3) La source est maintenant une source étendue. On considère deux points voisins S et S' de cette source (S et S' sont donc des sources incohérentes).

a) Montrer que le déphasage en M des ondes émises par S , respectivement réfléchies par la première lame et par la seconde, est en général différent du déphasage en M des ondes correspondantes émises par S' .

b) Observe-t-on des structures interférentielles sur l'écran disposé en M ? Si non, pourquoi, si oui, lesquelles ?

4) On considère à nouveau le cas d'une source ponctuelle S , et un point M à l'infini, situé du même côté de la première lame que S , dans une direction qui fait un angle θ avec la normale au plan des lames passant par S .

A quelle condition y-a-t-il interférence constructive en M ? En déduire les directions émergentes correspondant à des maxima d'intensité. Ce résultat dépend-il de la position du point source S ?

Exercice 2 : Interféromètre de Michelson réglé en lame d'air

Un interféromètre de Michelson est réglé en lame d'air. Il est éclairé par une source étendue monochromatique de longueur d'onde 500 nm.

On admet que le système de lames séparatrice et compensatrice est réglé de telle façon que les deux ondes qui interfèrent ont même phase et même amplitude quand l'épaisseur de la lame d'air virtuelle est nulle.

Les interférences sont observées grâce à une lentille convergente de distance focale $f = 1,0$ m.

- 1) Où doit-on placer l'écran d'observation ?
- 2) Etablir l'expression de la différence de marche en fonction de l'épaisseur de la lame d'air e et de l'angle d'incidence i .
- 3) L'épaisseur e de la lame d'air virtuelle passe progressivement de 0 à 10 μm . Décrire les aspects successifs du champ d'interférences.
Calculer les rayons des deux premiers anneaux brillants pour $e = 1,0$ μm et $e = 10$ μm .
- 4) Qu'observerait-t-on si la source se trouvait à l'infini ?

Exercice 3 : Mesure de l'écart spectral du doublet du sodium

Un interféromètre de Michelson, réglé en lame d'air, est éclairé par une lampe à vapeur de sodium, dont le spectre peut être considéré comme composé uniquement de deux longueurs d'onde λ_1 et λ_2 voisines de $\lambda_0 = 589$ nm, et de même intensité. On se propose de déterminer $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ par une autre méthode que celle utilisée dans le chapitre O4.

- 1) Où faut-il observer les interférences pour pouvoir utiliser une source étendue ? Comment procéder ?
- 2) Calculer l'expression de l'intensité I sur l'écran en fonction de δ , différence de chemin optique entre les rayons interférant. La commenter. Tracer l'allure de $I(\delta)$. Calculer le contraste.
- 3) Entre quatre brouillages successifs (au centre de l'écran), on mesure $\Delta e = 0,87$ mm. En déduire $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$. Pourquoi ne pas mesurer Δe directement entre deux brouillages successifs ?

Exercice 4 : Interféromètre de Michelson réglé en coin d'air

Un interféromètre de Michelson est réglé en coin d'air. Le système de lames séparatrice et compensatrice est réalisé et réglé de telle façon qu'il n'introduit ni déphasage additionnel, ni différence d'amplitude, entre les deux ondes qui interfèrent. Les interférences sont observées à l'aide d'une lentille convergente de distance focale $f = 20,0$ cm, située à une distance $d = 25,0$ cm du miroir et faisant l'image du miroir sur un écran.

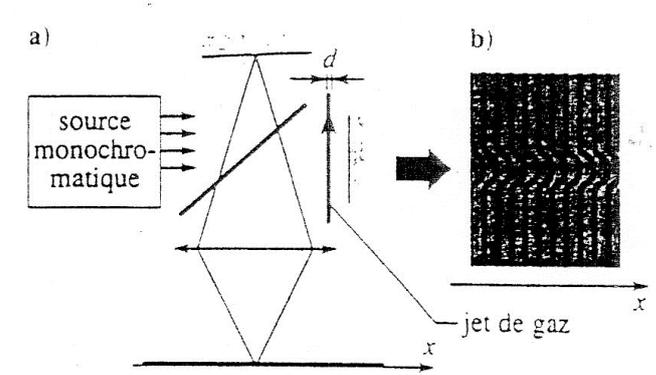
- 1) L'interféromètre est éclairé par une source monochromatique étendue de longueur d'onde 500 nm. Décrire les aspects successifs du champ d'interférences quand l'un des miroirs tourne autour de son axe médian d'un angle α variable de 0 à 1 degré.
Calculer l'interfrange sur l'écran pour $\alpha = 1,0$ minute d'arc et $\alpha = 1,0$ degré.
- 2) L'interféromètre est éclairé par une source de lumière blanche. Décrire l'aspect de la figure d'interférences.
Pour $\alpha = 1,0$ minute d'arc, qu'observe-t-on à une distance $x' = 1,0$ cm de la frange centrale blanche sur l'écran ? Même question pour $x' = 10$ cm. On pourra calculer le nombre de radiations à leur maximum d'intensité et le nombre de radiations à leur minimum d'intensité.
- 3) Quel est l'effet d'une augmentation de la distance entre la source et l'interféromètre ?

Exercice 5 : Jet de gaz

Un interféromètre de Michelson éclairé par une source monochromatique ($\lambda = 560 \text{ nm}$) est réglé en coin d'air. Un jet gazeux de diamètre d ($d \approx 3 \text{ mm}$) est envoyé contre un miroir, parallèlement à celui-ci, et perpendiculairement à l'arête du coin d'air.

Les franges d'interférence sur les miroirs ont l'aspect représenté sur la figure ci-contre : les franges sont décalées d'environ un interfrange à l'endroit où il y a le jet de gaz.

En déduire un ordre de grandeur de la différence entre l'indice du gaz et celui de l'air.



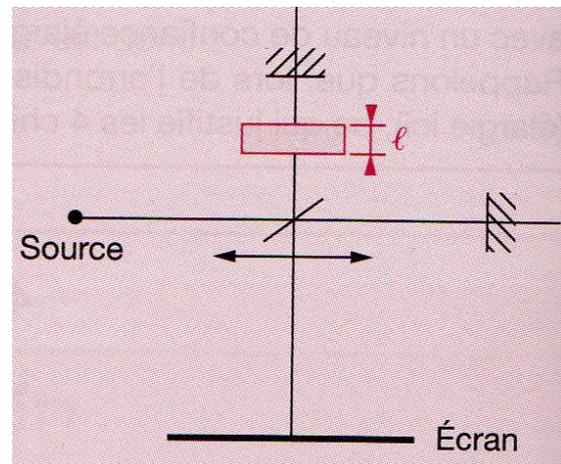
Exercice 6 : Mesure de l'épaisseur d'une lame de microscope

On observe un coin d'air éclairé en lumière blanche.

1) Expliquer en quelques mots le montage expérimental. Qu'observe-t-on sur l'écran ?

Sur l'un des trajets, on insère en incidence quasi-normale une lamelle de microscope, d'épaisseur ℓ et d'indice $n = 1,5$ (cf figure ci-contre).

- 2) Qu'observe-t-on alors sur l'écran ?
- 3) Expliquer quels réglages il faut effectuer afin d'observer à nouveau les interférences.
- 4) Ces interférences sont observables pour un déplacement d'une distance $d = 0,08 \text{ mm}$. En déduire l'épaisseur ℓ de la lame.
- 5) Pourquoi cette mesure ne peut-elle être faite avec une lampe spectrale ou un LASER ?



Exercice 7 : Lamme de verre

On considère une lamme mince à faces parallèles d'épaisseur $e = 8,0 \text{ mm}$ et d'indice $n = 1,60$, éclairée par une lampe à vapeur de mercure basse pression formant une source étendue monochromatique, de longueur d'onde $\lambda = 546,1 \text{ nm}$.

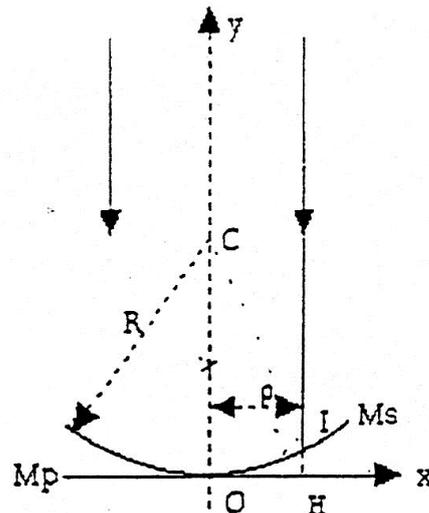
On suppose que les différentes réflexions ne sont pas déphasantes.

On étudie les interférences obtenues par réflexion sur cette lamme de verre.

- 1) Le coefficient de réflexion étant faible, montrer que les ondes issues de deux réflexions ou plus ont une intensité négligeable. En déduire que l'on a un problème d'interférences à deux ondes avec un bon contraste.
- 2) On observe les franges obtenues par réflexion dans le plan focal image d'une lentille convergente de distance focale $f = 50 \text{ cm}$. Calculer la différence de marche entre les deux premiers rayons réfléchis issus d'un rayon incident qui fait l'angle i avec la normale à la lamme. En déduire la nature des franges.
- 3) Calculer les rayons des trois premiers anneaux brillants (on se placera dans l'approximation des petits angles). Commenter.
- 4) Même question pour les trois premiers anneaux sombres.

Exercice 8 : Anneaux de Newton

On considère le dispositif suivant constitué d'un miroir sphérique M_S partiellement réfléchissant, d'épaisseur négligeable, de rayon $R = 10$ m, de centre C , reposant sur un miroir plan M_P . Le point de contact est O . On éclaire le système par un faisceau de lumière monochromatique de longueur d'onde λ , parallèle à l'axe de révolution Oy .



1-a) Expliquer de manière qualitative le fonctionnement de cet interféromètre. Où observe-t-on des interférences ?

b) Quelle est la différence de marche entre l'onde réfléchie sur M_S et celle réfléchie sur M_P en un point situé sur M_S à une distance ρ de l'axe ($\rho \ll R$).

2) L'œil (nu ou derrière une lunette d'observation) observe la figure d'interférences en accommodant sur la surface du miroir M_S .

a) Décrire le système d'interférences observé.

b) Donner l'expression de l'intensité $I(\rho)$ en supposant que les rayons qui interfèrent ont une même amplitude. Pourquoi appelle-t-on « franges d'égale épaisseur » ce type de figure d'interférences ?

c) Exprimer le rayon du 3^{ème} anneau sombre.

3) On éclaire le dispositif en lumière blanche.

a) Quel est l'aspect de la figure d'interférences ?

b) Calculer le rayon du premier anneau où les longueurs d'onde $\lambda_1 = 450$ nm et $\lambda_2 = 650$ nm sont simultanément éteintes.

Exercice 9 : Couleurs d'une lame d'eau savonneuse

Une bulle d'eau savonneuse, d'épaisseur e et d'indice $n = 1,3$, est éclairée sous incidence normale. Le coefficient de réflexion est faible, et les ondes issues de deux réflexions ou plus ont une intensité négligeable. On supposera de plus que les différentes réflexions ne sont pas déphasantes.

1) Quel déphasage présentent entre elles les deux ondes réfléchies ?

2) A quelle condition une lumière de longueur d'onde dans le vide λ_0 est-elle réfléchie avec une intensité maximale ?

3) Pourquoi la bulle, éclairée en lumière blanche, prend-elle des reflets colorés lorsqu'elle devient très mince ? Donner un ordre de grandeur de l'épaisseur d'une bulle colorée.

4) Citer un autre exemple de la vie quotidienne où l'on peut observer des interférences.

