

I. Frange achromatique

On considère le dispositif des fentes d'Young en lumière monochromatique avec observation dans le plan focal d'une lentille convergente L . La source S étant placée au foyer objet d'une lentille L_0 .

1. Exprimer l'intensité lumineuse $I(M)$ en un point M de l'écran en fonction de l'intensité I_0 de chacune des sources et du déphasage $\phi(M)$ au point M entre les deux ondes issues de S_1 et S_2 .
2. Exprimer $\phi(M)$ en fonction de la différence de marche géométrique $\delta(M)$ au point M entre les deux ondes lumineuses provenant des sources S_1 et S_2 .
3. Calculer l'ordre d'interférence P_0 au point O . Commenter.
4. Décrire l'allure de la figure d'interférence observée sur l'écran.
5. Déterminer en fonction de a , λ_0 et f' la distance i entre deux franges brillantes (interfrange).
6. Calculer l'interfrange i .

Application numérique : $S_1S_2 = a = 1\text{mm}$, $\lambda_0 = 600\text{nm}$ et $f' = 50\text{cm}$.

7. Une lame de verre d'épaisseur $e = 0.01\text{mm}$, d'indice $n = 1.5$ est placée avant S_1 (Figure 1).

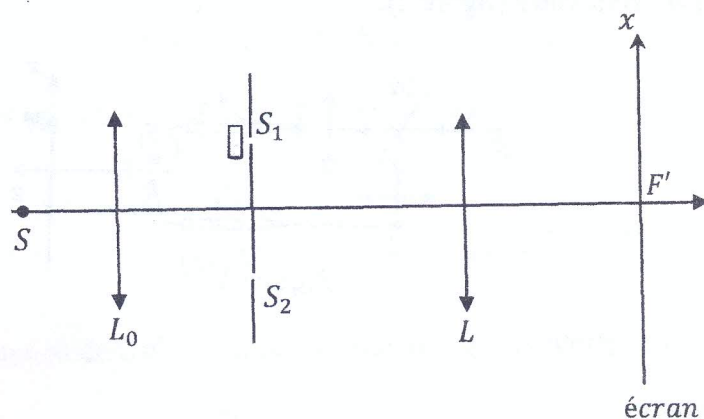


Figure 1

Déterminer la nouvelle position de la frange centrale. De combien d'interfranges s'est-elle déplacée.

8. On remplace désormais la source monochromatique par une source de lumière blanche. L'indice du verre varie avec la longueur d'onde dans le vide selon la loi de Cauchy :

$$n(\lambda_0) = A + \frac{B}{\lambda_0^2}$$

Avec $A = 1.489$ et $B = 0.004 \mu\text{m}^2$.

On appelle frange achromatique celle pour laquelle $\frac{\partial \Delta\varphi}{\partial \lambda_0} = 0$ pour $\lambda_0 = \lambda_{0m} = 600\text{nm}$ longueur d'onde moyenne du spectre visible.

Déterminer la position de la frange achromatique. Donner, en interfrange, l'écart entre la frange achromatique et la frange centrale trouvée à la question précédente.

9. Dans cette question on néglige la dispersion ($B = 0$). Sachant que le dispositif des fentes de Young permet de trouver la frange centrale dans le champ d'interférence si le chemin optique supplémentaire apporté par la lame reste inférieur à $10\mu\text{m}$. Quelle est la valeur maximale de e qui peut être mesurée par cette méthode.

II. Détecteur interférométrique de concentration

Le faisceau émis par la source S monochromatique de longueur d'onde $\lambda_0 = 600\text{nm}$ est dédoublé par une lame semi-réfléchissante (La) en deux faisceaux qui sont injectés dans deux fibres optiques. Les rayons lumineux guidés par ces fibres traversent deux cuves transparentes C_1 et C_2 identiques et sortent de la fibre optique en deux points S_1 et S_2 tels que $S_1S_2 = a$. Un écran d'observation est disposé parallèlement à l'axe S_1S_2 à distance $D \gg a$ de celui-ci. Le dispositif est réglé de telle manière que les chemins optiques (SS_1) et (SS_2) sont identiques lorsque les cuves sont vides (figure 2).

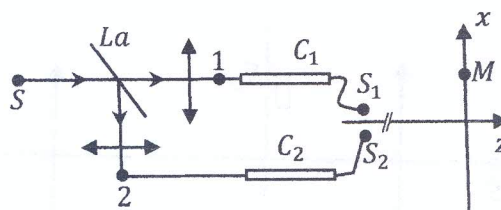


Figure 2

La : lame semi-transparente.

S : source primaire.

C_1 et C_2 : cuves transparentes.

1 et 2 : dispositif de couplage faisceau-fibre.

10. Les cuves sont remplies d'air d'indice n_1 dans les conditions standard de température et de pression. Donner une expression de l'intensité $I(x)$ observée sur l'écran en fonction de I_0 , x et de l'interfrange i que l'on exprimera en fonction des paramètres du problème.

11. Dans la cuve C_2 on remplace progressivement tout l'air par du monoxyde de carbone CO d'indice optique n_2 . Soit n l'indice du mélange en cours de remplissage. Donner la nouvelle expression de l'intensité $I(x)$ au cours du remplissage en fonction de I_m , i , x , n , n_1 et L . L'interfrange est-il modifié.

12. Lorsque l'air est totalement remplacé par le monoxyde de carbone. On constate que les franges se déplacent vers le haut. Quel est le signe de $n_2 - n_1$.

13. On note que 70 ± 1 franges passent en O au cours de l'expérience. Sachant que $L = 1\text{m}$ et $n_1 = 1.0002926$. Calculer n_2 et évaluer l'incertitude sur n_2 .

14. Pour détecter les franges on dispose d'un photomultiplicateur noté PM dont la cathode K est un rectangle $ABCD$ centré en M_0 d'abscisse x_0 . Ses cotés $AB = b$ et $BC = c$ avec ($b < c$) sont parallèles respectivement à Ox et Oy . L'intensité électrique I que débite le PM est proportionnel au flux lumineux total reçu par K noté Φ' . Une petite bande de K de surface $dS = cdx$ située entre les abscisses x et $x + dx$ où l'éclairement est $I(x)$ reçoit le flux élémentaire $d\Phi' = I(x)cdx$ donnant une intensité électrique $dI = kd\Phi'$.

Evaluer I dans les conditions du question 11 et la mettre sous la forme :

$$I(x_0, \Delta) = I'_0 \left[1 + \frac{\sin\left(\frac{\pi b}{i}\right)}{\frac{\pi b}{i}} \cos 2\pi\left(\frac{x_0}{i} + \frac{\Delta}{\lambda}\right) \right]$$

En précisant l'expression de I'_0 et Δ .

15. Application numérique : $b = 3i$. Le PM détecte-t-il les franges.

16. K , toujours centrée en x_0 , est diaphragmée, sa largeur utile étant b' . Le PM débite alors l'intensité:

$$I(x_0, \Delta) = I''_0 \left[1 + V \cos 2\pi\left(\frac{x_0}{i} + \frac{\Delta}{\lambda}\right) \right]$$

Exprimer V en fonction de i , b' et I''_0 en fonction de I'_0 , b et b' .

17. Application numérique : $b' = \frac{3i}{10}$ calculer V et conclure.

III. Interférences à deux ondes de longueurs d'onde voisines

18. La lumière émise par la source S est constituée de deux radiations de même intensité I_0 de longueurs d'onde voisines $\lambda_1 = \lambda_0 - \frac{\Delta\lambda}{2}$ et $\lambda_2 = \lambda_0 + \frac{\Delta\lambda}{2}$ avec $\Delta\lambda \ll \lambda_0$. Déterminer l'intensité lumineuse I en fonction de I_0, δ, λ_0 et $\Delta\lambda$.
19. Décrire l'allure de la figure d'interférence observée sur l'écran.
20. Quelles sont les expressions de l'intensité maximale I_{max} et de l'intensité minimale I_{min} .
21. On déduire l'expression du contraste C .
22. Calculer la petite valeur de l'ordre d'interférences p pour laquelle le contraste est nul.

Application numérique : $\lambda_0 = 600nm$ et $\Delta\lambda = 0.3nm$.