

Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde

3 Exercices

3.1 Trous d'Young

Une source S ponctuelle monochromatique, de longueur d'onde λ , éclaire une plaque (P) opaque percée de deux trous fins S_1 et S_2 distants de a , qui se comportent comme deux sources cohérentes synchrones. On observe les franges sur un écran plan (E) parallèle à (P). La distance de S à (P) est d , et la distance de (P) à (E) est D ($d \gg a$ et $D \gg a$). L'écran (E), normal à l'axe Oz , est rapporté aux deux axes perpendiculaires Ox et Oy , où Ox est parallèle à S_1S_2 et O est le point de l'écran situé sur la médiatrice de S_1S_2 .

1) Déterminer l'ordre d'interférence et l'intensité lumineuse en un point $M(x, y, 0)$ de l'écran, ainsi que l'interfrange dans les trois cas suivants :

- La source S est sur la médiatrice de S_1S_2 ;
- La source S est déplacée dans un plan parallèle à (E), d'une quantité x_s , parallèlement à Ox ;
- La source S est déplacée à partir de la position a) dans un plan parallèle à (E), d'une quantité y_s , parallèlement à Oy .

2) La source S est replacée sur la médiatrice de S_1S_2 ; on place devant le trou S_1 une lame de verre à faces parallèles, d'indice n et d'épaisseur e , parallèle à (P).

- Déterminer le nouvel ordre d'interférence en M et la position de la frange centrale.
- On maintient la lame devant S_1 et on place devant S_2 une autre lame à faces parallèles en verre d'indice n' et d'épaisseur e' . Calculer e' pour que la frange centrale revienne en O ; on donne : $e = 420 \mu\text{m}$; $n = 1,50$; $n' = 1,70$.

3) La source S demeure sur la médiatrice de S_1S_2 . Les lames de verre sont retirées. Calculer l'ordre d'interférence en $M(x, y, 0)$ et déterminer les modifications du système des franges dans les deux cas suivants :

- Si la plaque (P) glisse dans son plan d'une quantité X parallèlement à S_1S_2 .
- Si l'écran (E) tourne d'un angle α autour de l'axe Oy .

3.2 Etude du contraste : source constituée de deux points

On considère une source monochromatique constituée de deux points P_1 et P_2 , séparés d'une distance h et qui éclaire deux trous d'Young.

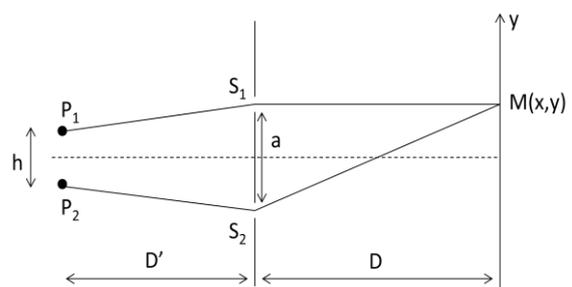
Les deux points sources P_1 et P_2 sont incohérents.

1) Comment obtenir l'intensité lumineuse totale au point M ?

2) Donner son expression sous la forme : $I = 4I_0(1 + \cos \alpha \cos \beta)$. On précisera la valeur de α et β .

3) L'un des deux cosinus précédent ne dépend pas de la position du point M . On appelle ce terme contraste de la figure d'interférence. Expliquer pourquoi.

4) Lorsque le contraste de la figure est nul, on dit qu'il y a anti-coïncidence. Pourquoi ?



- 5) Lorsque le contraste de la figure est maximal, on dit qu'il y a coïncidence. Pourquoi ?
- 6) A partir de cet exemple, expliquer pourquoi dans le cas d'une simple fente source, celle-ci doit être suffisamment fine pour obtenir une figure d'interférence contrastée. On dit que la source doit être plus fine que la longueur de cohérence spatiale.

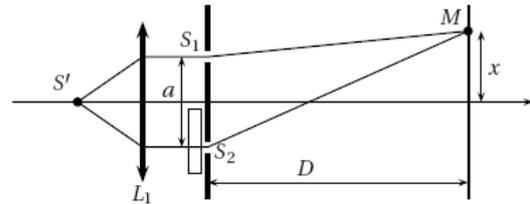
3.3 Etude du contraste : source constituée de deux longueurs d'onde

On considère une source ponctuelle délivrant deux longueurs d'onde λ_1 et λ_2 très proches telles que $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 \ll \lambda_1, \lambda_2$ qui éclaire deux trous d'Young. On utilise, par exemple, une lampe au sodium.

- 1) Comment obtenir l'intensité lumineuse totale au point M ?
- 2) Donner son expression sous la forme : $I = 4I_0 (1 + \cos\alpha \cos\beta)$. On précisera la valeur de α et β .
- 3) Dans l'un des deux cosinus on retrouve une périodicité égale à l'interfrange. Le second cosinus est appelé contraste. Expliquer pourquoi.
- 4) Pour quelle valeur de $\Delta\lambda$ observe-t-on un brouillage de la figure d'interférence ?
- 5) Expliquez le phénomène en revenant sur la notion de cohérence temporelle.

3.4 Mesure interférométrique de l'épaisseur d'une lame

On considère le dispositif des fentes d'Young en lumière monochromatique avec observation sur un écran éloigné à la distance D du plan des fentes d'Young. La source (S) est placée au foyer objet d'une lentille mince convergente, conformément au schéma suivant.



- 1) Décrire la figure d'interférences observée ainsi que la répartition de l'intensité lumineuse $\varepsilon(x)$ sur l'écran. Faire l'application numérique pour $S_1S_2 = a = 1,0$ mm ; $\lambda_0 = 600$ nm et $D = 2,0$ m. Définir puis calculer l'interfrange i .
- 2) Une lame de verre d'épaisseur e , d'indice n , est placée avant S_2 . Déterminer la nouvelle position de la frange centrale. De combien d'interfranges s'est-elle déplacée ? Faire l'application numérique pour $n = 1,500$ et $e = 0,01$ mm. Vous semble-t-il possible de repérer le décalage de la frange centrale consécutif à la présence de la lame ? Pourquoi ?
- 3) On remplace désormais la source monochromatique par une source de lumière blanche. L'indice du verre varie selon la loi de Cauchy : $n(\lambda_0) = A + \frac{B}{\lambda_0^2}$ avec $A = 1,489$ et $B = 4000$ nm²

On appelle frange achromatique celle pour laquelle : $\left(\frac{\partial p(M)}{\partial \lambda_0} \right) = 0$ à une longueur d'onde moyenne à laquelle l'œil présente une sensibilité maximale : $\lambda_{om} = 600$ nm.

La quantité $p(M)$ désigne l'ordre d'interférence en un point M de l'écran. 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. Conclure quant à l'intérêt d'utiliser une source de lumière blanche.

- 4) Dans cette question, on néglige le phénomène de dispersion : $B=0$. Sachant que le dispositif des fentes d'Young permet d'obtenir des différences de marche géométriques allant de 0 à 10 μm , quelle est la valeur maximale de e qui peut être mesurée par cette méthode ? Qu'observe-t-on si on prend une lame ayant 1 mm d'épaisseur ? On rappelle que la longueur de cohérence temporelle de la lumière blanche peut être estimée en pratique à 3 μm .