TD n°8 : Interférences par division du front d'onde

Exercice 1 : Modifications des trous d'YOUNG

On réalise les modifications suivantes au montage du cours :

1) On immerge complètement le dispositif dans l'eau. Sachant que l'interfrange dans l'air valait $i_0 = 2,0$ mm, quelle est sa nouvelle valeur dans l'eau ?

2) On enlève l'eau, mais on rajoute devant un des deux trous une lame qui ne laisse passer que 50% de l'intensité incidente sans introduire de différence de marche notable. Qu'est ce qui change ?

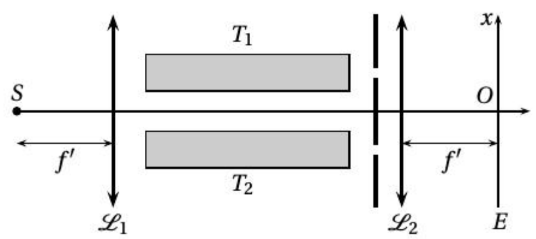
3) On se replace dans le montage habituel, mais on utilise de la lumière blanche maintenant.

a) Qu'observe-t-on sur l'écran ?

b) On perce une petite fente parallèle aux trous d'YOUNG, au point $x = 5$ mm de l'écran. On place derrière un prisme afin de disperser la lumière.
Combien peut-on observer de raies sombres, appelées cannelures, dans le spectre formé derrière le prisme, sachant que $a = 1,5$ mm et $D = 1,5$ m ? À quelles longueurs d'onde correspondent-elles ?

Exercice 2 : Interféromètre de RAYLEIGH (CCP)

L'interféromètre de RAYLEIGH dérive du dispositif des fentes d'YOUNG. Sur chaque voie de l'interféromètre, on place un tube de longueur $L = 20,0$ cm. On dispose, au foyer image de la lentille L_2 un détecteur fixe qui permet d'enregistrer le défilement des franges lorsque l'on fait progressivement le vide dans un des tubes.
À la fin de l'opération, le vide a été réalisé dans le tube T_2. Le détecteur étant initialement positionné sur une frange brillante, on enregistre un défilement de 112 franges brillantes pendant l'expérience. On donne $\lambda_0 = 523,0$ nm.



1) Déterminer l'indice de l'air n_{air}.

2) Sachant que l'on peut estimer le nombre de franges qui défilent à une frange près, en déduire l'incertitude sur n_{air}.

Exercice 3 : Réseau

1) On éclaire un réseau ayant 500 traits par millimètre par un faisceau parallèle en incidence normale et de longueur d'onde $\lambda_0 = 600$ nm.
Combien de pics de diffraction peut-on observer au maximum ?

2) Un réseau optique doit être tel que, pour toute longueur d'onde du domaine visible :

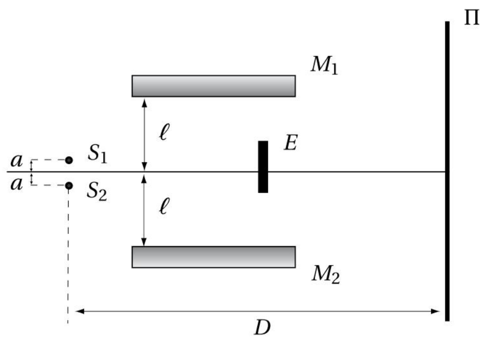
- on puisse observer au moins un ordre de diffraction non nul en incidence normale,
- l'angle entre les directions des lumières diffractées dans deux ordres consécutifs soit au moins égal à 0,1 rad.

Comment doit-on choisir le pas du réseau ?

Exercice 4 : Deux sources et deux miroirs

On considère le dispositif ci-dessous :

- les deux sources lumineuses S_1 et S_2 ponctuelles, monochromatiques émettent la même intensité I_0,
- les miroirs $\mathcal{M}_1$ et $\mathcal{M}_2$ ne permettent qu'une réflexion de la lumière sur ceux-ci,
- le cache E ne sert qu'à éliminer toute lumière directe,
- et la distance D est supérieure à toutes les autres distances.



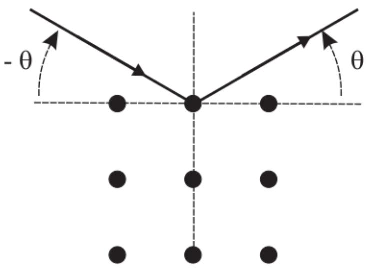
1) Déterminer, par un critère semi-quantitatif, une condition nécessaire pour ne pas avoir brouillage des franges sur l'écran Π.

2) Déterminer l'intensité lumineuse $I(x)$ sur l'écran, ainsi que le contraste des franges. Retrouver le résultat de la question précédente

On fera attention à bien distinguer les ondes cohérentes de celles qui sont incohérentes dans ce dispositif.

Exercice 5 : Formule de Bragg (ADS X-ESPCI)

On envoie sous un angle θ mesuré par rapport à la surface, des rayons X issus d'une source ponctuelle située à l'infini, monochromatique de longueur d'onde λ, sur un solide cristallin modélisé par un ensemble d'atomes disposés aux sommets d'un réseau cubique de pas $a = 0,3$ nm. Les atomes reçoivent l'onde incidente, sont excités et réémettent de manière cohérente une lumière de même longueur d'onde : on dit qu'ils *diffusent* les rayons X (ou improprement qu'ils les *diffractent*).



Interpréter le fait qu'on n'observe de lumière que dans la direction correspondant à la réflexion sur un miroir fictif confondu avec la surface et sous réserve que θ satisfasse à la relation de Bragg :

$$2\sin\theta = \frac{p\,\lambda}{a} \qquad \text{avec } p \text{ entier} \qquad \text{et justifier l'emploi de rayons X.}$$

Exercice 6 : Vélocimétrie

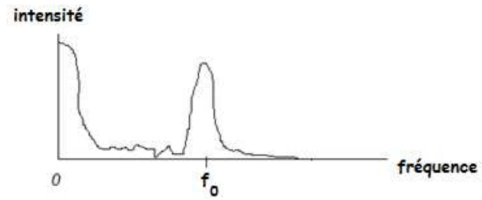
On considère deux faisceaux lumineux parallèles cohérents, se propageant dans l'air assimilé au vide et qui se croisent en formant un angle 2α.

1) Rappeler les conditions de cohérence de deux ondes lumineuses (quasi)monochromatiques ? Proposer un dispositif expérimental permettant d'obtenir les deux faisceaux mentionnés plus haut.

2) Exprimer les deux ondes lumineuses en introduisant leur vecteur d'onde.

3) Exprimer l'éclairement en tout point M situé dans le champ d'interférence.

4) Une particule se déplace à vitesse constante dans cette zone. Un capteur lumineux, placé en son voisinage et sensible à la lumière diffusée par la particule, fournit le signal suivant :



Quelle information obtient-on sur la vitesse de la particule ?

Réponses

Exercice 1 : Modifications des trous d'Young

1) $i_1 = \dfrac{\lambda D}{na} = \dfrac{i_0}{n} = 1,5$ mm.

2) $I_2 = 0,5 I_1$ donc interfrange non modifiée mais contraste $C = \dfrac{2\sqrt{2}}{3} < 1$ diminué.

3.b) $\dfrac{\delta}{\lambda_{\text{rouge}}} < p < \dfrac{\delta}{\lambda_{\text{violet}}}$, soit 5 cannelures sombres.

Exercice 2 : Interféromètre de Rayleigh

$n = 1,000293$ et $\Delta n \approx 3 \cdot 10^{-6}$.

Exercice 3 : Réseau

1) L'ordre p doit être tel que $|p| < \dfrac{a}{\lambda} = 3,3$ donc 7 pics de diffraction.

2) $\lambda_0 < a < 10\lambda_0$.

Exercice 4 : Deux sources et deux miroirs

1) $\Delta p < 1/2$ soit $a < \dfrac{\lambda D}{16\ell}$.

2) $I(x) = I_{\max}\left[1 + C\cos\left(\dfrac{8\pi\ell x}{\lambda D}\right)\right]$ avec $C = \cos\left(\dfrac{8\pi\ell a}{\lambda D}\right)$.

Exercice 5 : Formule de Bragg

Interférences constructives très sélectives ; θ n'existe que si $\lambda \le 2a = 0,6$ nm.

Exercice 6 : Vélocimétrie

1) Trous d'Young au foyer objet d'une lentille convergente.

2) $s_i(M,t) = A_i\cos(\omega t - \overrightarrow{k_i}\cdot\overrightarrow{OM} - \varphi_i(O))$

3) $E(M) = E_1 + E_2 + 2\sqrt{E_1E_2}\cos\left(\dfrac{4\pi\sin\alpha}{\lambda}y\right)$

4) Signal de fréquence $\dfrac{2\sin(\alpha)v_y}{\lambda}$ permet de remonter à la vitesse selon y de la particule, d'où le nom.