OPTIQUE - Interférences

Exercice 1 - Interféromètre de Rayleigh

Exo 4 fiche 3/2

Une source ponctuelle monochromatique S est placée au foyer objet d'une lentille convergente. Elle éclaire un système de deux fentes S_1 et S_2 placées symétriquement par rapport à l'axe optique, suivies par deux tubes T_1 et T_2 puis une deuxième lentille convergente L. Un écran E est placé dans le plan focal image de L.
Lorsque les deux tubes T_1 et T_2 sont remplis d'air, une frange brillante s'observe au centre O de l'écran E (montage symétrique).

1. T_2 restant rempli d'air, T_1 est progressivement vidé. Dans quel sens défilent les franges en O ?

2. **A.N.** La source S émet la radiation $\lambda = 0.577$ μm et la longueur des tubes est $l = 20$ cm. Sachant que 101 franges brillantes défilent en O et lorsque la pression dans T_1 est quasi nulle, on observe en O une frange sombre, donner l'indice n de l'air.

Exercice 2 - Franges de Meslin

Exo 5 fiche 3/2

Une source ponctuelle monochromatique S est placée au foyer objet d'une lentille convergente. Elle éclaire un système de deux demi-lentilles L_1 et L_2 obtenues à partir d'une même lentille convergente sciée suivant un diamètre et décalées suivant l'axe optique de $2\ e$; F_1' et F_2' sont les foyers.

1. Faire un schéma du dispositif et localiser le champ d'interférence.

2. Trouver la différence de marche de deux rayons, l'un passant par L_1, l'autre par L_2, arrivant en un point M du champ en procédant comme suit : $\delta = c\ \Delta T$, où ΔT est la différence des temps d'arrivée (l'onde atteint F_2' par exemple en T_0). On admettra que le passage d'une onde par un foyer la déphase de π.
On note $d_1 = F_1'M$, $d_2 = F_2'M$ et r la distance de M à l'axe.
Quelle est la forme des surfaces équiphases ?

3. On place un écran perpendiculairement à l'axe, au milieu de $F_1'F_2'$. Avec $r \ll e$, déterminer le rayon r_p du $p^{\text{ème}}$ anneau noir. Dessiner le système de franges. Quelles sont les données manquantes de l'énoncé qui permettraient de déterminer le rayon maximal $r_{\max}$ du champ ?

Exercice 3 - Interféromètre de Jamin

Exos 6 et 8 fiche 5/2

Une fente source S infiniment fine monochromatique ($\lambda = 589$ nm) est placée dans le plan focal d'une lentille convergente de distance focale $f_1 = 50$ cm et de centre O_1. Un peu plus loin sont placées les deux moitiés d'une lentille convergente de distance focale $f = 25$ cm. Cette lentille a été sciée en deux suivant un diamètre, les deux moitiés sont écartées symétriquement et distantes de $2\epsilon = 2$ mm. L'intervalle entre les demi-lentilles est obturé par un cache opaque. On note O le point d'intersection entre l'axe optique O_1x et le cache opaque, et y la direction perpendiculaire à l'axe optique dans le plan du tableau. On observe dans un plan de front yEz situé à $d = 50$ cm de O.

1. Faire un schéma.

2. Déterminer la largeur du champ d'interférence dans le plan yEz. Quelle est l'intensité lumineuse en un point M du champ ? Combien y a-t-il de franges brillantes visibles ?

3. La source émet en réalité un doublet (sodium) $\lambda_1 = 589.0$ nm et $\lambda_2 = 589.6$ nm. Au bout de combien d'interfranges les deux systèmes peuvent-ils se brouillent ? Conclusion.

4. On place entre O_1 et O, en dessous de l'axe Ex et perpendiculairement à cet axe, une lame à face parallèles, d'épaisseur $e = 1$ mm, taillée dans un verre d'indice $n = 1.517$. Combien de franges ont défilé en M ? Où est située la frange centrale ? Conclure par rapport à la question précédente.

5. La fente source n'est plus infiniment fine mais possède une petite largeur 2Σ. Elle est uniformément éclairée et placée symétriquement par rapport à l'axe Ox. Quelle est la nouvelle différence de marche $\delta = (PM)_2 - (PM)_1$? Calculer l'intensité lumineuse totale en M et en déduire le contraste Γ des franges. Quelle doit être la valeur maximale Σ_m de Σ pour que $\Gamma \geq 0.9$?

Exercice 4 - Cohérence temporelle

Exo 7 fiche 5/2

Une source S émet des trains d'onde de durée τ ; la durée séparant en moyenne deux trains d'onde successifs est T'. Soit θ le retard temporel introduit entre les deux vibrations issues de S_1 et S_2 (trous d'Young) lorsqu'elles interfèrent en M.

1. En considérant les différentes phases, donner l'éclairement moyen en M et en déduire le facteur de visibilité V en fonction de θ et τ.

2. L'incertitude sur la fréquence ν du train d'onde est $\Delta\nu = 1/\tau$. Exprimer la visibilité $V(p)$ des franges d'ordre p en fonction de p et de $\Delta\lambda/\lambda$. Dessiner l'allure de $V(p)$. Déterminer l'ordre p_0 pour lequel $V(p > p_0) = 0$. Comparer au doublet jaune du sodium.

<u>Exercice 5</u> - Interférences en lumière polarisée

Compo agrég externe 2000 - partie 8

Sur les bras d'un interféromètre de Michelson réglé en coin d'aur et utilisé en lumière monochromatique de longueur d'onde λ, on introduit des lames polarisantes P_1, P_2, P_e, P_s ou des lames cristallines. On appelle "axe" d'une lame polarisante la direction du champ électrique de l'onde qui en sort. On suppose pour simplifier que les lames de l'interféromètre (séparatrice et compensatrice) n'agissent pas sur la polarisation de la lumière.
On note Oxy le plan de la figure, O étant le centre de la séparatrice, Ox pointant vers le miroir M_1 et Oy vers M_2. L'observation se fait suivant les $Oy < 0$. Soit α_1, α_2, α_e et α_s les angles que font les lames avec l'axe Oz (comptés positivement autour des directions Ox et Oy).

1. Faire un schéma.

2. Au départ, on place seulement les polariseurs P_1 et P_2, avec leurs axes parallèles à Oz. Que voit-on ?

3. On fait tourner P_1 de $\pi/2$ autour de Ox. Que voit-on ? On conserve cette disposition des polariseurs croisés par la suite.

4. On ajoute la lame P_s, que l'on fait tourner autour de Oy. Calculer le contraste des franges en fonction de α_s. Pour quelles valeurs de α_s est-il maximal ? Qu'illustre cette expérience, dite de Fresnel-Arago ?

5. On retire P_s et on introduit P_e. Qu'observe-t-on pour une valeur donnée de α_e ? Que se passe-t-il quand on fait tourner P_e autour de Ox ?

6. On replace P_s, avec $\alpha_s = \pi/4$, en maintenant P_e. Que se passe-t-il quand on fait tourner P_e autour de Ox ? Comparer à l'un des cas précédents.

7. P_s est enlevé ; on place le polariseur P_e avec $\alpha_e = 0$. Devant M_1 et M_2, on remplace les polariseurs par deux lames quart d'onde à la longueur d'onde λ telles que Oz soit bissectrice des angles entre axe lent et axe rapide des lames, bissectrice intérieure pour l'une et bissectrice extérieure pour l'autre. Qu'observe-t-on ? Justifier le résultat.

OPTIQUE - Diffraction

Exercice 1 - Apodisation

Exos 10 fiche 3/2 et 11 fiche 5/2

1. Dans le plan de diffraction $O'XY$ est placée une fente infiniment fine dont la transparence suit la loi $t(X) = \cos\frac{\pi X}{a}$. Dans tout ce qui suit, on posera $u = \frac{2\pi a \sin\theta}{\lambda}$.

a. Comment peut-on réaliser un tel filtre ?

b. Calculer l'amplitude diffractée dans la direction θ.

c. En déduire l'intensité diffractée, expression et graphe. Comparer au cas d'une fente de transparence unité. Pourquoi parle-t-on d'apodisation ?

2. Généralisation : On étudie la diffraction de Fraunhofer d'une fente fine de largeur $2a$ dont la transparence $t(X)$ satisfait les conditions suivantes :

- t est paire sur $[-a, a]$, nulle en dehors de cet intervalle.
- $t \in \mathcal{C}^\infty(]-a,a[)$ et $\forall p \in \mathbb{N},\ \ t^{(p)}(a) = \lim\limits_{X \to a^-} t^{(p)}(X)$

a. Exprimer l'amplitude diffractée $\underline{A}(u)$ sous forme d'une intégrale sur la variable X. Mettre $\underline{A}(u)$ sous forme d'une série de termes fonction de u dont les cœfficients font intervenir les valeurs $t^{(p)}(a)$.

b. Retrouver les résultats de la question précédente.

c. Trouver une fonction $t(X)$ conduisant à une figure de diffraction "sans pieds". Commentaires (mathématique et surtout physique !)

Exercice 2 - Interférence à quatre trous

Exo 15 fiche 3/2

Quatre petits trous de même diamètre sont perforés aux sommets d'un carré de côté a dans un écran opaque éclairé sous incidence nulle par une lumière parallèle et monochromatique. L'observation se fait dans le plan focal d'une lentille convergente de distance focale f'. Déterminer $I(x, y)$ l'intensité lumineuse en un point $M(x, y)$ de l'écran d'observation (l'axe optique du système coupe le plan diffractant au centre du carré). Décrire ce qu'on observe et commenter.

<u>Exercice 3</u> - Poudre de lycopode

Exos 13, 14 et 16 fiche 3/2

1. Théorème de Babinet : deux écrans sont complémentaires si la partie opaque de l'un correspond à la partie transparente de l'autre. Montrer qu'en dehors de l'optique géométrique, les figures de diffraction données par deux écrans complémentaires sont identiques.

2. Translation de la figure de diffraction : dans le plan de diffraction Σ, on fait subir à la pupille (S) de transparence $t(X,Y)$ une translation de vecteur $\overrightarrow{V}(X_0,Y_0)$ dans le plan $O'XY$.

a. Montrer que l'image géométrique O de (S) n'est pas modifiée.

b. Montrer que la figure de diffraction reste la même (elle ne subit pas de déplacement). Quelle est la grandeur modifiée ?

3. Poudre de lycopode : le plan de diffraction Σ est une plaque de verre (lame à faces parallèles) et l'objet diffractant (S) est composé de grains identiques opaques, assimilés à des petits disques de rayon R, aléatoirement répartis sur la plaque. L'observation se fait dans le plan focal d'une lentille convergente de distance focale f'.

a. Utiliser les résultats des questions 1 et 2 pour décrire la figure de diffraction

b. A.N. $\lambda = 0.6\ \mu$m ; $f' = 1$ m ; le premier anneau noir a pour rayon $x = 2.45$ cm sur l'écran de projection. En déduire le rayon typique d'un spore de lycopode.

<u>Exercice 4</u> - Réseau par réflexion "en créneau"

Exo 18 fiche 3/2

Un réseau en créneau formé de N motifs de pas h est formé de facettes réfléchissantes de largeur $h/2$ disposées alternativement dans un plan de base et en avant de celui-ci d'une distance $e \ll h$. Ce réseau par réflexion est utilisé en incidence normale et on se limite aux petits angles de diffraction θ (par rapport à la normale). On pose $u = \pi h\theta/2\lambda$.

1. Donner en la justifiant l'expression de l'amplitude totale en fonction de l'amplitude diffractée par un motif et du terme d'interférence entre les N motifs.

2.

a. Calculer l'amplitude diffractée $\underline{A}_d(u)$ par un motif, et donner l'allure de la courbe de l'intensité diffractée $I_d(u)$.

b. Montrer que l'on peut choisir la profondeur e pour que l'ordre 0 soit supprimé. Quel intérêt cela présente-t-il ? Que devient alors la fonction $I_d(u)$? Tracer la nouvelle courbe $I_d(u)$.

3.

a. Rappeler l'expression de la fonction d'interférence $I_i(u)$ des N motifs de pas h et tracer la courbe $I_i(u)$.

b. En déduire qu'il ne subsiste ici que les ordres -1 et $+1$.

Exercice 5 - Réseau à échelettes

Exo 15 fiche 5/2

Un réseau à échelettes est formé de N petits miroirs ou facettes de largeur $a = 4\ \mu$m et inclinés sur le plan du réseau d'un angle $\beta = 12°$. Un faisceau lumineux de longueur d'onde λ arrive normalement au plan du réseau.

1. Donner en la justifiant l'expression de l'amplitude totale en fonction de l'amplitude diffractée par un motif et du terme d'interférence entre les N motifs.

2. Quelle est l'intensité diffractée dans la direction α par l'ensemble de la structure ?

3. Comment doit-on choisir λ de telle sorte que le maximum de lumière corresponde à l'ordre 3 ? Qu'en est-il des autres ordres ?