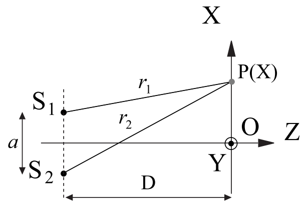
TD 4 : Optique physique I

Les indispensables

Exercice 1 — *D'après CCP 04*

On considère deux ondes de même amplitude s_0, émises par deux sources ponctuelles monochromatiques situées dans le vide, S_1 et S_2, distantes de la longueur a, ces deux sources étant cohérentes et en phase. On négligera la variation des amplitudes en fonction des parcours r_1 et r_2. Le plan d'observation est parallèle à la droite des sources et situé à une distance D de celle-ci. Le point courant P décrit l'axe OX. On suppose que $D >> a$ et $D >> X$.

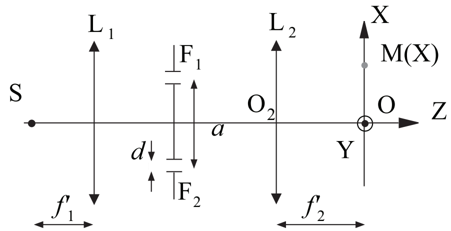


1 - Exprimer l'intensité lumineuse I en fonction de X, position du point P de l'écran.

2 - Définir et exprimer l'interfrange i.

Exercice 2 — *D'après CCP 12*

Une source lumineuse, de longueur d'onde dans le vide λ, est considérée comme une source ponctuelle S dans le plan focal objet d'une lentille convergente L_1. Elle éclaire de manière uniforme les deux ouvertures de faibles dimensions d et distantes de a. On observe la figure d'interférence dans le plan focal image d'une lentille convergente L_2.



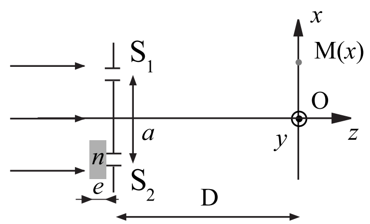
1 - Calculer la différence de chemin optique $\delta(M)$ au point M entre les rayons issus de chacune des ouvertures en fonction de a, X et f'_2.

2 - En déduire, l'expression de l'intensité lumineuse I(M) et représenter graphiquement I(X).

3 - Déterminer l'interfrange en fonction de λ, f_2 et a.

Exercice 3 — *D'après CCP 07, 18*

Un laser, de longueur d'onde dans le vide λ, émet un faisceau lumineux cylindrique d'axe Oz. Il éclaire entièrement et de manière uniforme les deux ouvertures de faibles dimensions et distantes de a. Cette distance est très petite par rapport à la distance d'observation D, et le point M est proche du point O. On peut considérer que a, x, y sont très petits devant D. Devant l'un des trous, on ajoute devant une petite lame à faces parallèles, d'épaisseur e et d'indice n



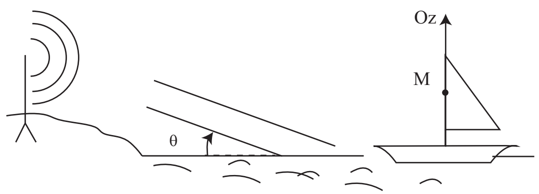
1 - Calculer la différence de chemin optique $\delta(M)$ au point M entre les rayons issus de chacune des ouvertures en fonction de n, e, a, x et D.

2 - En déduire, l'expression de l'intensité lumineuse I(M) et représenter graphiquement I(x).

3 - Déterminer la position de la frange d'ordre 0. Dans quel sens se déplace la figure d'interférences si l'on enlève la lame de verre ?

Exercice 4 — *D'après CCP 17, 18*

Un émetteur côtier envoie une onde plane faisant un angle $\theta = 3°$ avec l'horizontal en direction d'un récepteur M situé à une al-



titude z et à grande distance de l'émetteur. La fréquence d'émission est de $f = 150$ MHz.

1 - Expliquer et justifier le phénomène au point M.

2 - Montrer que la différence de marche géométrique est de la forme

$$\delta = f(z)\sin\theta$$

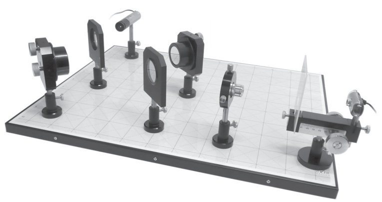
3 - Calculer l'expression de l'intensité lumineuse en admettant que la différence de marche est rallongée de $\lambda/2$ due à la réflexion sur l'eau.

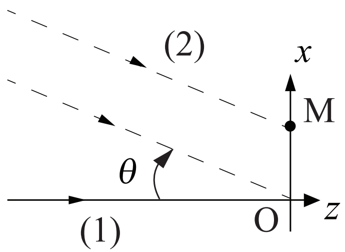
4 - Exprimer l'interfrange en fonction des données. Le mât d'un bateau fait 10 m environ. Où faut il placer le détecteur ?

5 - L'eau réfléchit les ondes électromagnétique avec un coefficient de réflexion de $R = 0{,}7$. Déterminer le contraste de la figure.

Pour s'entraîner

Exercice 5 — *D'après CCP 09*





Pour réaliser des hologrammes, deux ondes planes, issue d'une même source, de même pulsation ω et de longueur d'onde λ se propagent dans le vide. L'une des vibrations se propagent perpendiculaire au plan d'observation M et sa vibration est représentée par :

$$s_1 = A_1\cos(\omega t + \phi_1)$$

On note s_2 l'autre vibration d'amplitude A_2 arrivant sur le plan M sous une incidence θ. On choisit pour origine des abscisses le point O où les vibrations s_1 et s_2 sont en phase.

1 - Exprimer la différence de marche entre les deux rayons arrivant en un point M d'abscisse x et écrire la vibration résultante en ce point.

2 - On rappelle que l'éclairement E est défini par la valeur moyenne du carré de la vibration lumineuse. Exprimer E_1 et E_2 les éclairement de chaque vibration s_1 et s_2.

3 - En déduire l'éclairement résultant des ces deux ondes dans le plan d'observation en fonction de x, θ, λ et des éclairement E_1 et E_2.

4 - Définir puis calculer l'interfrange i et le contraste C pour $\lambda = 600$ nm, $\theta = 30°$ et $A_1 = 2A_2$.

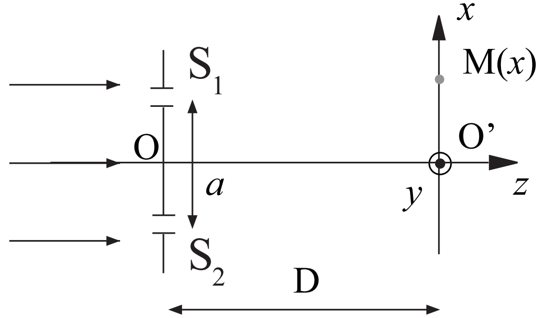
Données : $2\cos a\cos b = \cos(a-b) + \cos(a+b)$

Exercice 6 — *D'après Banque PT 08, Oral CCP 17*

On utilise 2 trous d'Young identiques, S_1 et S_2 distants de a, pour obtenir des figures d'interférences sur un écran $(O'xy)$ tel que O' est situé à la distance D du milieu O de S_1S_2. On note Oz l'axe orthogonal à S_1S_2 et à l'écran. On supposera que a, $|x|$ et $|y|$ sont très inférieurs à D.

Partie I

On observe la radiation de longueur d'onde λ émise par une étoile à l'infini, supposée ponctuelle. Les trous d'Young sont d'abord disposés de sorte que Oz soit colinéaire aux rayons émis par l'étoile.

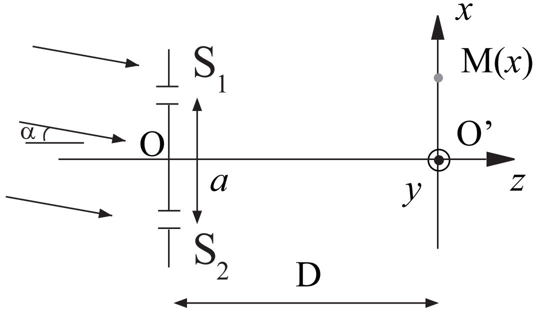


1 - Calculer la différence de marche entre les rayons arrivant en un point $M(x,y)$ de l'écran.

2 - Déterminer la répartition de l'éclairement E(M) sur l'écran en fonction de E_0, éclairement en O'.
3 - Quelle est la nature des franges d'interférences ?
4 - Représenter la courbe $E(x)$ et déterminer l'expression de l'interfrange i.

Partie II

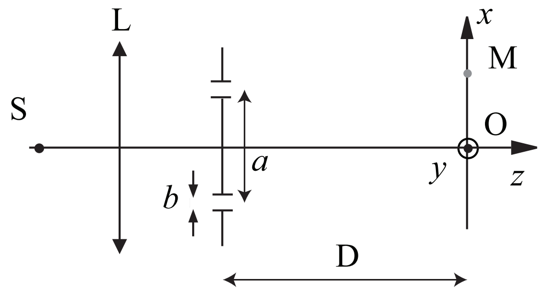
L'étoile est désormais dans la direction α par rapport à Oz. On supposera α petit.



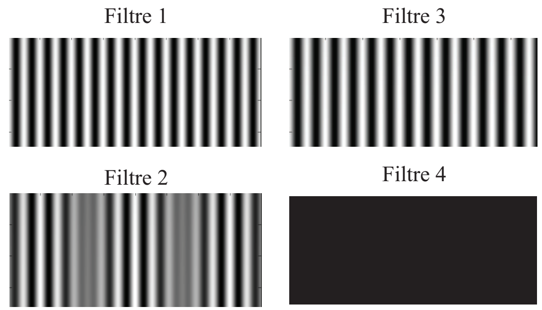
1 - Calculer la nouvelle différence de marche en M.
2 - Déterminer l'éclairement sur l'écran en fonction de E_0. Déterminer l'interfrange. Qu'y a-t-il de changé par rapport au cas précédent ?
3 - On observe maintenant 2 étoiles pour lesquelles on a sélectionné la même longueur d'onde λ. Ces étoiles se trouvent respectivement dans les directions α et $-\alpha$ par rapport à Oz, avec α petit. On suppose de plus que les éclairements qu'elles émettent pour la longueur d'onde sont les mêmes. Déterminer la répartition de l'éclairement E(M) sur l'écran.
4 - Calculer le contraste $\mathcal{C}$ de la figure d'interférences. En faisant varier l'écartement entre les fentes, montrer qu'il y a brouillage, c'est-à-dire que les franges disparaissent pour des valeurs discrètes de a.
5 - On fait varier a et on observe le brouillage pour deux valeurs successives de a distantes de 25 μm. En déduire α en radian
Données : $\lambda = 500$ nm et D = 50 cm.

Exercice 7 — *D'après Oral Centrale 15*

Dans l'air dont l'indice sera pris égal 1, On place deux fentes infiniment fines d'écartement $a = 0{,}10$ mm et de largeur $b = 10$ μm à une distance D = 1,00 m d'un écran. Les fentes sont éclairées par une source S inconnue dans le plan focal d'une lentille convergente.



1 - Pour une source monochromatique, calculer le déphasage entre les rayons issus de chacune des fentes arrivant en un point M de l'écran.
2 - En déduire l'intensité lumineuse sur l'écran.
On dispose de 4 filtres quasi-idéaux laissant passer les longueurs suivantes en nanomètres :
• Filtre 1 : $\lambda \in [400 - 500]$; • Filtre 2 : $\lambda \in [500 - 600]$;
• Filtre 3 : $\lambda \in [600 - 700]$; • Filtre 4 : $\lambda \in [700 - 800]$;
Les éclairements lorsque les filtres sont utilisés sont obtenus ci-dessous (les figures ne sont pas à l'échelle).



3 - Déduire de ces courbes les longueurs d'onde présentes dans la source principale.
Données : $\cos a + \cos b = 2\cos\dfrac{a+b}{2}\cos\dfrac{a-b}{2}$

Exercice 8 *D'après Oral Centrale 16*

Une source cylindrique monochromatique éclaire un réseau à N fentes, de pas a. Le faisceau passe après déviation par une lentille, puis arrive sur un écran.

1 - . Où doit-on placer l'écran pour y former les images formées par des rayons parallèles ?

2 - Pourquoi les S_k peuvent-elles être assimilées à N sources cohérentes ?

3 - Calculer le déphasage de S_k par rapport à S_1.

4 - On suppose que l'intensité lumineuse ne dépend pas de l'angle de déviation θ, exprimer $I(\theta)$. On se placera dans les conditions de Gauss.

5 - Tracer l'allure de $I(\theta)$. Déterminer la demi largeur du pic central.

On utilise désormais une source composée de deux longueur d'ondes. On admet le critère de Rayleigh : les images de deux objets sont distinctes si le maximum d'intensité pour l'une correspond au moins au premier minimum d'intensité pour l'autre.

6 - Exprimer la résolution $R = \frac{\lambda_2-\lambda_1}{\lambda_1}$ en fonction de N.

Exercice 9 *D'après CCP 14*

On considère un réseau de diffraction par transmission de pas a, éclairé par une lumière de longueur d'onde λ.

1 - Rappeler le principe d'un goniomètre. Faire un schéma avec le tracé de 3 rayons.

On note θ_i l'angle d'incidence et θ_d l'angle à la sortie.

2 - Déterminer la différence de marche ? entre deux rayons passant par deux fentes consécutives.

3 - En déduire la formule des réseaux reliant θ_i, θ_d, λ, a et l'ordre k.

On étudie avec le goniomètre le doublet du sodium : $\lambda_1 = 589{,}0$ nm et $\lambda_2 = 589{,}6$ nm. On repère la normale pour une position de la lunette de $\theta_0 = 110°00'$. La direction incidente correspond à une position de $\theta_1 = 90°07'$ de la lunette, et le deuxième ordre pour λ_1 à $\theta_{\lambda_1,2} = 132°47'$.

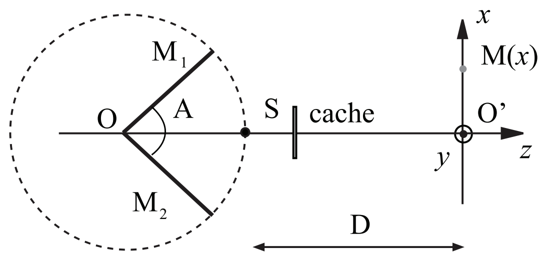
4 - Déterminer θ_i et $\theta_{d,2}$pour λ_1.

5 - En déduire a.

6 - Déterminer $\theta_{d,2}$ pour λ_2. Commenter. Que faut il faire pour observer le doublet du sodium ?

Pour performer

Exercice 10 *D'après Oral Mines 11*



On considère deux miroirs M_1 et M_2,éclairés par une source ponctuelle S monochromatique situé sur la médiane des deux miroirs a une distance R de O. On note $A = \pi/2 - 2\varepsilon$ l'angle entre les deux miroirs. Un cache de petite taille empêche la source S d'éclairer directement l'écran.

1 - Donner l'image d'un point M' du point M par un miroir plan.

2 - Donner la position des sources S_1 et S_2 virtuelles. S_1 étant l'image de la source S réfléchie sur le miroir M_1 puis sur le miroir M_2 et S_2 étant l'image de la source S réfléchie sur le miroir M_2 puis sur le miroir M_1.

3 - Montrer que la distance entre les deux sources vaut $8\varepsilon R$.

4 - Justifier la présence d'interférences et donner la zone d'interférence.

5 - Donner l'interfrange i et donner le nombre d'interfrange visible.