

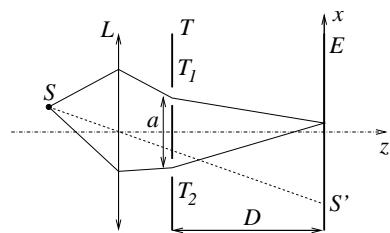
T.D. O₂ : Interférences et problèmes de cohérence

Exercice 1 Franges de YOUNG au voisinage de l'image géométrique

Une lentille L donne, d'une source ponctuelle monochromatique S, une image géométrique S' sur un écran E.

On interpose, entre la lentille L et l'écran E, un écran opaque T percé de deux trous T₁ et T₂ appartenant au plan défini par l'axe optique et la droite (SS').

- Décrire la figure d'interférence (sans justification).
- Que se passe-t-il qualitativement si l'écran T subit une translation parallèlement à Ox, ou à Oz ?
- Que se passe-t-il qualitativement si la lentille L subit une translation parallèlement à Ox ?
- Vérifier quantitativement les questions précédentes.



Exercice 2 Fentes de YOUNG avec observation à l'infini

Deux trous de YOUNG T₁ et T₂, distants de a , sont éclairés par une source ponctuelle monochromatique, située sur la médiatrice de [T₁T₂]. Nous observons les interférences à l'infini, c'est-à-dire dans le plan focal image d'une lentille convergente de distance focale image f' .

- Tracer les rayons, issus de T₁ et T₂, qui arrivent au même point M de l'écran.
- Évaluer la différence de marche en M.
- En déduire l'intensité lumineuse observée sur l'écran, la forme des franges d'interférences et l'interfrange. Montrer que la source ponctuelle peut alors être remplacée par une fente fine et les deux trous par deux fentes afin de rendre le phénomène plus lumineux.
Les interférences sont-elles localisées ?
- On envisage d'éclairer trois fentes identiques, parallèles et équidistantes, par une source ponctuelle S. Montrer que les chemins optiques (ST₁), (ST₂) et (ST₃) sont ici différents.
- La source ponctuelle S est maintenant placée au foyer d'une lentille convergente. Montrer qu'alors les trois chemins optiques (ST₁), (ST₂) et (ST₃) sont égaux. Soit a la distance entre deux fentes. Déterminer l'intensité en un point de l'écran et décrire le système de franges.
- Comment évoluent les franges si les trois fentes subissent une translation en bloc ?

Exercice 3 Lentille en aval de fentes de YOUNG

Soit F₁ et F₂ deux fentes très fines parallèles de YOUNG percées dans une plaque opaque d'épaisseur négligeable (distance entre fentes F₁F₂ = a). Ces fentes fines sont éclairées en incidence normale par une lumière monochromatique de longueur d'onde λ . On place juste après (contre) cette plaque une lentille (L) convergente dont le centre est à égale distance des deux fentes. Sa distance focale est f' . Ensuite, on place parallèlement au dispositif précédent un écran à une distance D.

Déterminer l'interfrange i du phénomène d'interférences observé sur l'écran lorsque :

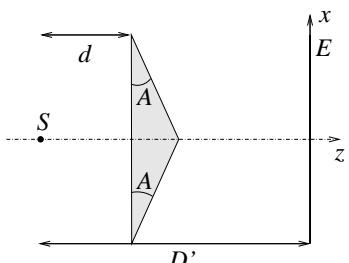
- $D = f'$;
- $D = 2f'$.

Exercice 4 Biprisme de Fresnel

Un biprisme (verre d'indice n) est éclairé par une fente fine de centre S, située dans le plan de symétrie des deux prismes. La lumière est monochromatique de longueur d'onde λ .

- Montrer que, lorsque l'angle A est petit et l'angle d'incidence faible, tout rayon arrivant sur la face d'entrée est dévié de $\alpha = (n - 1)A$. En déduire la position des sources secondaires S₁ et S₂ et leur écartement a , en supposant les prismes de "petite" taille.
- Dessiner le champ d'interférence.
- Décrire le système de franges observé sur l'écran.
- Combien de franges peut-on espérer voir ? Comment peut-on les observer effectivement ?

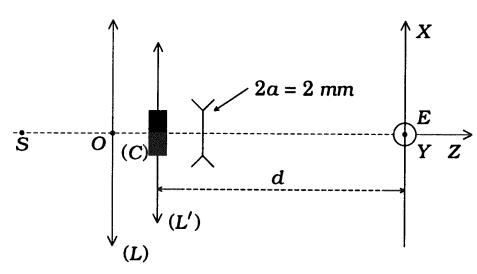
Données : $d = 10 \text{ cm}$; $D' = 1 \text{ m}$, $A = 1^\circ$, $n = 1,5$ et $\lambda = 589 \text{ nm}$.



Exercice 5 Bilentilles de BILLET

On considère le dispositif interférentiel représenté sur la figure ci-contre. La source ponctuelle monochromatique (longueur d'onde $\lambda = 0,60 \mu\text{m}$) est au foyer objet d'une lentille (L). L'ensemble (L') est constitué par les deux moitiés d'une lentille convergente (distance focale $f'_2 = 20 \text{ cm}$, sciee en deux suivant un diamètre) écartées symétriquement par rapport à l'axe du système d'une distance $2a$. (C) est un cache opaque.

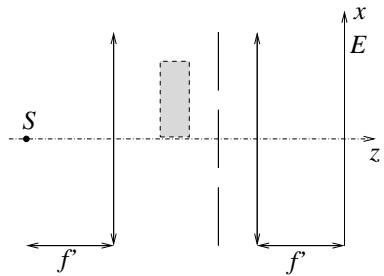
- On observe sur un écran à une distance $d = 40 \text{ cm}$ du plan de (L') un phénomène d'interférences : le décrire.
- Que se passe-t-il si l'on remplace S par un fil source perpendiculaire au plan de figure ?
- Calculer l'intensité lumineuse et le nombre de franges brillantes observables.



Exercice 6 Équerre optique

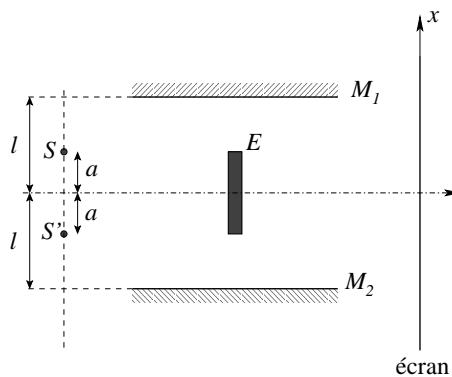
On considère le dispositif interférentiel des fentes de YOUNG avec observation dans le plan focal d'une lentille (la source monochromatique est au foyer objet de la première lentille). On donne la distance $a = 1 \text{ mm}$ entre les fentes, $\lambda = 0,6 \mu\text{m}$ et $f' = 50 \text{ cm}$.

- Décrire la figure d'interférences observée, ainsi que la répartition d'intensité $I(x)$.
- On intercale sur le trajet de l'un des faisceaux une lame à faces parallèles (épaisseur e , indice n). Les faces sont perpendiculaires à l'axe du système. Déterminer le nombre N de franges qui ont défilé au centre de l'écran. On prendra $n_{\text{air}} = 1,00$, $n = 1,50$ et $e = 0,50 \text{ mm}$.
- À partir de cette position, on tourne la lame d'un angle θ en sens trigonométrique. Sachant que l'on peut apprécier au mieux le déplacement de 0,1 frange, avec quelle précision peut-on régler la position de la lame ?



Exercice 7 Interférences avec deux miroirs parallèles

On considère le montage représenté sur la figure. M_1 et M_2 sont des miroirs plans distants de $2l$. S et S' sont des sources ponctuelles monochromatiques, distantes de $2a$, de même longueur d'onde λ et de même intensité. L'écran opaque E supprime la lumière directe.



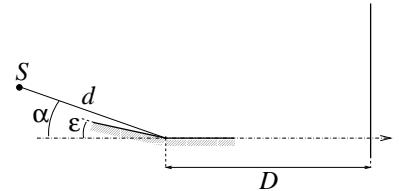
Déterminer l'intensité lumineuse $I(x)$ sur l'écran (placé loin), ainsi que le contraste des franges.

Exercice 8 Miroirs de FRESNEL

On considère deux miroirs plans de dimensions $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$, qui font entre eux un angle très faible $\varepsilon = 15'$.

Il est éclairé par une fente source très fine, parallèle à l'arête des miroirs, centrée en S . Cette source est monochromatique ($\lambda = 546 \text{ nm}$) et placée à une distance $d = 25 \text{ cm}$ de l'arête, dans une position repérée par l'angle α très petit.

- Que voit-on sur l'écran placé à une distance $D = 1,75 \text{ m}$ de l'arête ? les franges sont-elles localisées ?
- Combien peut-on voir de franges ?
- Retrouver, qualitativement, la première largeur critique de la fente pour laquelle on observe un brouillage des franges.



Exercice 9 Interférences lumineuses données par une raie à profil rectangulaire

On considère un dispositif interférentiel donnant d'une source lumineuse ponctuelle S deux images S_1 et S_2 telles que $S_1S_2 = s$, se comportant comme deux sources lumineuses vibrant en phase. On observe les interférences qu'elles produisent sur un écran E parallèle au segment S_1S_2 et situé à la distance D de celui-ci, telle que $D \gg s$.

- La source émettant une radiation monochromatique de longueur d'onde λ_0 , décrire brièvement les phénomènes observés sur E . Donner l'expression de l'éclairement au point M d'abscisse x de E en fonction de la différence de marche $\delta(x)$ en M et du nombre d'ondes $\sigma = 1/\lambda$.
 - Le flux énergétique émis par la source est maintenu réparti continûment dans un intervalle de nombres d'ondes compris entre deux valeurs voisines σ_1 et σ_2 . On admettra que pour une bande infinitésimale de nombres d'ondes compris entre σ et $\sigma + d\sigma$, la source se comporte comme si elle était monochromatique, de nombres d'ondes σ et d'intensité de la forme $dI = I_0(\sigma)d\sigma$. L'intensité spectrale $I_0(\sigma)$ est non nulle seulement sur un intervalle $[\sigma_1; \sigma_2]$ où $I_0(\sigma) = I_0$ est constante.
- Montrer que l'éclairement en M peut se mettre sous la forme

$$\mathcal{E}(x) = \frac{\mathcal{E}_0}{2} [1 + \mathcal{V} \cos(2\pi\sigma\delta(x))]$$

Donner l'expression du facteur de visibilité \mathcal{V} du système de franges au voisinage d'un point de l'écran et décrire l'aspect des franges observées sur E .

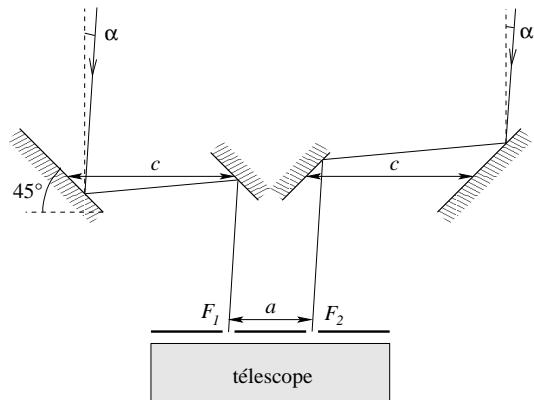
- Retrouver par un raisonnement qualitatif la valeur de la différence de marche correspondant au point où on observe le premier brouillage des franges.

Exercice 10 Interféromètre stellaire de MICHELSON

Albert MICHELSON (1852-1931), inventeur par ailleurs du célèbre interféromètre qui porte son nom, a imaginé un dispositif permettant de mesurer de très faibles distances angulaires en astronomie. Il a pu ainsi résoudre certains couples d'étoiles doubles ou mesurer certains diamètres stellaires.

Le schéma de principe est représenté sur la figure. Les quatre miroirs sont parallèles deux à deux et orientés à 45° par rapport au plan de fentes de YOUNG. Un objet ponctuel à l'infini est repéré par l'angle α , supposé petit.

- Pour un objet ponctuel à l'infini, déterminer le déphasage $\varphi(\alpha)$ de l'onde entre les deux fentes F_1 et F_2 .
- À quelles conditions les franges, dues à deux objets de distance angulaire $\Delta\alpha$, se brouillent-elles mutuellement ?
- La distance c est variable par une translation des miroirs. En déduire une mesure de $\Delta\alpha$.



Exercice 11 Miroir de LLOYD

- On éclaire un miroir m par une source lumineuse ponctuelle S , située à une distance b du plan du miroir, émettant une radiation monochromatique de longueur d'onde λ . Montrer que l'on observe des interférences dans un plan P , perpendiculaire au miroir, situé à la distance D de S , avec $D \gg b$. Préciser la forme des franges obtenues et donner la valeur de l'interfrange en fonction de b , λ et D .
- On remplace la source S par une longue fente fine F , parallèle aux franges précédentes. On ouvre cette fente pour obtenir une largeur $2a$ orthogonalement au miroir. Le centre de la fente est à la distance b du miroir.
 - Déterminer l'éclairement en un point M du plan P , situé à une distance x de m et dû à une tranche de la source de largeur dy .
 - En déduire l'éclairement en M fourni par toute la source. Montrer qu'il s'écrit sous la forme

$$\mathcal{E}(x) = \mathcal{E}_0 \left[1 - \mathcal{V} \cos \left(2\pi \frac{x}{i_0} \right) \right]$$

Préciser la signification de i_0 et donner l'expression du coefficient de visibilité \mathcal{V} .

- Décrire l'aspect des franges observées dans le plan P .
- Retrouver par un raisonnement qualitatif les abscisses des points où l'on observe un brouillage des franges.

Quelques indications ou solutions...

Exercice 1

Pas d'indication, hormis que l'on reste dans les conditions de Gauss.

Exercice 2

Dans la question 2, ne surtout pas faire de calcul géométrique de la différence de marche avec la lentille ! Il faut utiliser le théorème de Malus et le principe de retour inverse de la lumière. Ensuite, lorsqu'on passe aux trois fentes, on ne peut plus utiliser les résultats des interférences à deux ondes puisque ce sont trois ondes qui interfèrent ! Il faut revenir au départ : la sommation d'amplitudes scalaires lumineuses...

Exercice 3

$$i_1 = \lambda f'/a. i_2 = 2\lambda f'/a.$$

Exercice 4

$$a = 2Ad(n-1); i = 0,34 \text{ mm}; 47 \text{ franges brillantes.}$$

Exercice 5

$$\text{Interfrange } i = 60 \mu\text{m et } N = 33 \text{ franges observées.}$$

Exercice 6

- $i = \lambda f'/a = 0,3 \text{ mm.}$
- $N = 416 \text{ franges.}$
- La différence de marche provenant de la traversée de la lame inclinée est après calcul $e[n \cos r - \cos \theta]$ où r est l'angle de réfraction dans la lame. On peut en faire un développement limité aux faibles inclinaisons...

Exercice 7

Attention, les sources S et S' ne sont pas cohérentes puisque l'énoncé ne dit rien à ce sujet. Il faut raisonner séparément pour chaque source et faire apparaître des sources secondaires...

Exercice 8

- Franges rectilignes d'interfrange $i = 0,5 \text{ mm}$ et de contraste $\mathcal{C} = 1$.
- Trentaine de franges.
- Première largeur critique de $0,07 \text{ mm}$.

Exercice 9

*Plus proche du cours, tu m**** !*

Exercice 10

$$\varphi(\alpha) = \frac{2\pi}{\lambda_0} (a + 2c)\alpha; \Delta\alpha = (q + \frac{1}{2}) \frac{\lambda_0}{a + 2c} \text{ (} q \text{ entier relatif)}$$

Exercice 11

Très proche du cours...