

INTERFÉRENCES À DEUX ONDES À DIVISION DU FRONT D'ONDE

Exo 1

Miroir de Lloyd.

Le dispositif interférentiel du miroir de LLOYD est constitué d'un miroir plan AB de 10 cm de long, et d'un écran qui lui est orthogonal en B. Une source ponctuelle située à une hauteur $h = 1 \text{ mm}$ au dessus du plan du miroir et à 20 cm de A, émet une radiation de longueur d'onde $\lambda = 0,546 \mu\text{m}$. (voir figure 1)

Expliquer pourquoi ce dispositif permet d'observer des interférences sur l'écran, puis pourquoi on a une frange sombre en B.

Déterminer la hauteur du champ d'interférences et calculer l'interfrange.

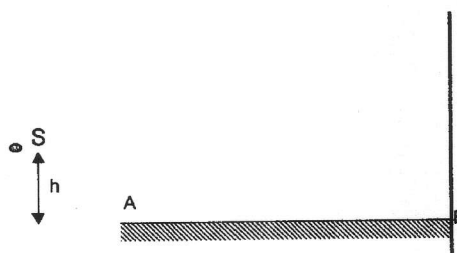


FIG. 1 -

Expliquer, en s'inspirant de ce qui précède, qu'un bateau en mer à 12 km de la rive capte difficilement un émission radio de longueur d'onde de 2 m si l'émetteur est placé à une hauteur de 10 m et que les choses s'arrangent s'il est placé sur une colline à une hauteur de 500 m.

Exo 2

Miroirs de Fresnel.

Le dispositif des miroirs de FRESNEL consiste en deux miroirs plans faisant entre eux un petit angle α et éclairés par une source ponctuelle sous incidence quasi-rasante et l'on observe ce qui se passe sur un écran orthogonal aux miroirs ; la figure 2 p. 2 précise les notations. Décrire le champ d'interférences et calculer l'interfrange.

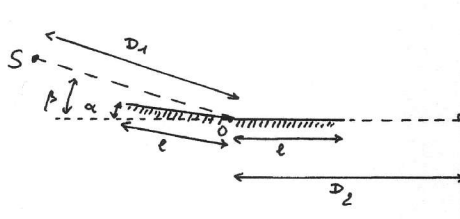


FIG. 2 -

Exo 3

Bilentilles de Billet.

Une source ponctuelle et monochromatique S est placée sur l'axe optique d'une lentille convergente de centre O , de distance focale $f' = 20$ cm, de rayon $R = 5$ cm ; on a $SO = 30$ cm (cf figure 3). Où se trouve l'image S' de la source ?

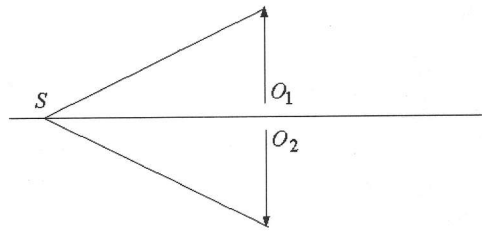


FIG. 3 -

On scie la lentille en deux selon un plan passant par l'axe et l'on décale les deux demi lentilles transversalement. Leurs centres O_1 et O_2 se trouvent désormais à $b = 0,1$ mm de l'axe, symétriques l'un de l'autre et à l'aplomb du point O . Tracer sur une figure les faisceaux lumineux traversant les demi lentilles, indiquer où se trouve le champ d'interférences. Montrer que les images S'_1 et S'_2 de S se comportent comme des sources secondaires et calculer leur écartement. En déduire l'interfrange de la figure d'interférences sur un écran placé à une distance $D = 1$ m de la lentille.

Exo 4

Biprisme de Fresnel.

Deux prismes identiques de section triangulaire rectangle, avec un petit angle α , d'indice n , sont accolés par leurs petits côtés. Une onde plane monochromatique arrive sur ce dispositif normalement aux grands côtés des triangles (cf figure 4 p. 3). Montrer que ressortent du dispositif deux ondes planes dont les directions font un angle β , que l'on calculera, avec la direction initiale, l'un vers le haut, l'autre vers le bas.

Faire un schéma du dispositif en y indiquant les deux faisceaux lumineux sortant des deux prismes et en faisant apparaître clairement la zone où se produiront les interférences (le champ d'interférences).

Avec un bon choix des axes, les vecteurs d'onde de ces deux ondes s'écrivent, en appelant ω la pulsation :

$$k_1 = \frac{\omega}{c} (\cos \beta \vec{e}_x + \sin \beta \vec{e}_y)$$

$$k_2 = \frac{\omega}{c} (\cos \beta \vec{e}_x - \sin \beta \vec{e}_y)$$

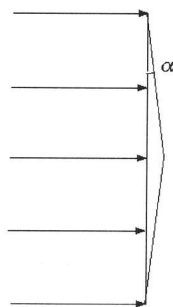


FIG. 4 -

Simplifier cette expression en tenant compte de la petitesse de l'angle β . Donner, en notation complexe, l'expression des amplitudes des deux ondes en fonction des coordonnées (x, y, z) , puis celle de l'onde résultant de leur interférence et enfin son intensité. En déduire que les surfaces iso-intensité sont des plans parallèles et équidistants. Calculer l'interfrange de la figure d'interférences obtenue sur un plan orthogonal à la direction de l'onde incidente.

Trous d'YOUNG : Un écran opaque est percé de deux trous très petits ; il est éclairé par une onde plane arrivant normalement. On montre qu'à la sortie des trous, la lumière est émise dans toutes les directions : les trous se comportent comme des sources synchrones. Derrière l'écran on place une lentille convergente dont l'axe lui est normal et on place un écran d'observation dans son plan focal (cf figure 5). Calculer la différence de marche en un point quelconque de ce plan focal. Décrire qualitativement et quantitativement la figure d'interférences.

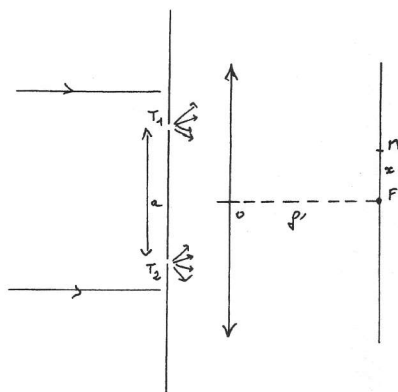


FIG. 5 -

Reprendre l'exercice précédent avec quatre trous aux sommets d'un carré de côté a .

Exo 6

Résolution interférentielle d'une étoile double.

Une lunette astronomique est formée d'un objectif assimilé ici à une lentille mince convergente de distance focale $f' = 1$ m et d'un oculaire qui permet de voir ce qui se passe dans son plan focal image. On vise une étoile dont l'image se trouve au foyer F' . On place devant l'objectif un écran opaque pourvu de deux fentes F_1 et F_2 , parallèles et très fines séparées par une distance réglable $e = F_1F_2$. La lumière de l'étoile est filtrée, elle est monochromatique de longueur d'onde λ . Voir figure 6.

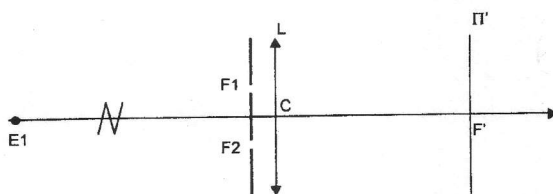


FIG. 6 - exercice 309

Décrire ce qu'on observe dans le plan focal et calculer l'interfrange pour $\lambda = 0,6 \mu\text{m}$ et $e = 6$ mm. Que se passe-t-il si e varie ?

En réalité, l'étoile est double, constituée de deux étoiles distantes angulairement de ε , supposées de même intensité. Où se forme l'image de la seconde étoile ? Quel système d'interférences observerait-on s'il n'y avait que la seconde étoile ? Quel éclairement observe-t-on avec l'étoile double et pour quelle(s) valeur(s) de e les franges disparaissent-elles ? Expérimentalement, la plus petite valeur est $e_m = 0,52$ mm ; calculer ε .

En réalité pour $e = e_m$, les franges ne disparaissent pas, mais leur contraste est minimal et vaut alors $\gamma_m = 0,1$. Quelle hypothèse faut-il remettre en question ? Que peut-on en déduire quantitativement ?

Exo 7

Frange achromatique.

Soit l'expérience d'YOUNG décrite par la figure 7 où x et a sont exagérément grandis pour une meilleure lisibilité.

Calculer la différence de marche au point M de l'écran d'abscisse x .

La source ponctuelle est monochromatique de longueur d'onde λ . Décrire la figure d'interférences, qualitativement et quantitativement.

La source ponctuelle émet désormais de la lumière blanche. Décrire ce que l'on voit sur l'écran et justifier.

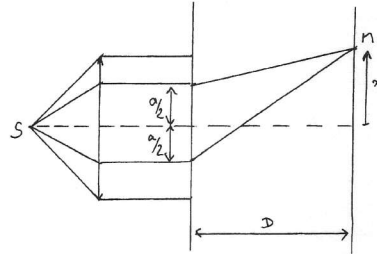


FIG. 7 -

On place devant l'un des deux trous une lame de verre à faces parallèles, d'épaisseur e , orthogonale au rayon lumineux et taillée dans un verre d'indice de réfraction n . Que voit-on sur l'écran dans le cas d'une source ponctuelle monochromatique ? Comparer à la situation sans lame.

Toujours avec la lame, mais en lumière blanche : mêmes questions lorsque l'indice n ne dépend pas de la longueur d'onde λ .

On suppose de plus que l'indice de réfraction varie avec la longueur d'onde selon une loi semi-empirique, où A et B sont des constantes :

$$n(\lambda) = 1 + A + \frac{B}{\lambda^2}$$

Existe-il un point M où la différence de marche ne dépende pas de λ ?

Dans le même contexte, justifier que si $\left(\frac{\partial \varphi}{\partial \lambda}\right)_x$ s'annule pour $\lambda = \lambda_{max}$ (φ désigne le déphasage correspondant à la différence de marche au point M d'abscisse x et à la longueur d'onde λ ; λ_{max} est la longueur d'onde à laquelle l'œil est le plus sensible), alors on verra le même type de phénomène qu'avec une lumière blanche et sans lame. Au voisinage de quel point se passera le phénomène ?

On peut résumer cette étude en disant que l'élargissement spectral de la source entraîne la localisation des interférences. A quoi cela vous fait-il penser ?

INTERFÉROMÈTRE DE MICHELSON

Exo 8

Invariance de la vitesse de la lumière.

Après quelques recherches historiques, trouver la taille minimale d'un interféromètre de MICHELSON pour invalider la mécanique classique au profit de la mécanique relativiste.

Exo 9

Coin d'air.

Un MICHELSON réglé en coin d'air, éclairé par une source monochromatique à l'infini ($\lambda = 0,6 \mu\text{m}$) donne des franges d'égale épaisseur d'interfrange $1,2 \text{ mm}$. Quel est l'angle entre les miroirs ?

Exo 10

Raie gaussienne.

Un dispositif d'interférences non précisé est éclairé par une raie quasi mono-chromatique caractérisée par un profil spectral $f(\sigma) = A \exp \left[-\frac{(\sigma - \sigma_0)^2}{a^2} \right]$ où $\sigma = 1/\lambda$ et A, σ_0 et $a \ll \sigma_0$ sont des constantes. Quelle est la signification physique de σ_0 ? Quelle la largeur à mi-hauteur $\Delta\sigma$ de la raie ?

Exprimer l'éclairement $\mathcal{E}$ en fonction de la différence de marche x et tracer la courbe ; on donne :

$$\int_{-\infty}^{\infty} \exp(-u^2/a^2) \exp(2j\pi u x) du = a\sqrt{\pi} \exp(-\pi^2 a^2 x^2)$$

Comment mesurer expérimentalement $\Delta\sigma$?

Exo 11

Doublet du sodium.

Comment régler un interféromètre de MICHELSON pour obtenir des franges d'égale inclinaison ? (Position relative des miroirs ? Position de la source ? Localisation des franges ?)

Calculer en fonction de la distance entre miroirs, la différence de marche *au centre* de la figure d'interférences.

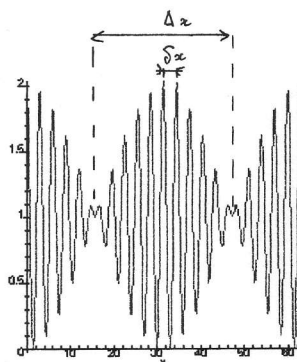


FIG. 8 -

On place au centre de cette figure un récepteur photoélectrique qui délivre une tension proportionnelle à l'intensité reçue. Grâce à un moteur électrique, on chariotte à vitesse constante le miroir mobile et la tension du récepteur est visualisée sur un enregistreur. L'interféromètre est éclairé par le doublet du sodium. La courbe a l'allure de la figure 8. δx est l'intervalle entre deux maximums successifs et Δx l'intervalle entre deux points où maximums et minimums sont quasiment égaux.

Le rapport entre Δx et δx est quasiment égal à 500. (Pour une meilleure lisibilité, le schéma ne respecte pas cette proportion.) Que peut-on en déduire ?

Quel enregistrement obtiendrait-on avec une source émettant dans une bande spectrale étroite avec une densité spectrale d'énergie uniforme ?

Exo 12

Spectre cannelé.

On éclaire un MICHELSON réglé en lame d'air d'épaisseur x avec une source à l'infini ; observe-t-on des interférences ? La source émet de la lumière blanche et l'on disperse la lumière émergente par un prisme ou un réseau de diffraction ; on observe un «spectre cannelé». Expliquer ce que cela veut dire. Quelles sont les radiations visibles absentes du spectre pour $x=2 \mu\text{m}$?

Exo 13

Localisation des franges du coin d'air avec source à l'infini.

On utilise l'interféromètre de MICHELSON monté en coin d'air d'angle $\alpha = 3 \cdot 10^{-3}$ rad et éclairé par une source à l'infini de longueur d'onde $\lambda = 683$ nm.

La source est ponctuelle et arrive sous un angle β sur le premier miroir (cf figure 10). L'origine des phases est le point O . Montrer que l'ordre d'interférence au point $M(x, y, z)$ est :

$$p = \frac{2\pi}{\lambda} [x (\sin(\beta + 2\alpha) - \sin \beta) + z (\cos(\beta + 2\alpha) - \cos \beta)]$$

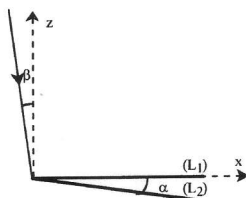


FIG. 10 -

La source est étendue, c'est-à-dire que β varie entre $-\beta_m$ et $+\beta_m$. Calculer les valeurs extrêmes de p au point $M(1 \text{ cm}, 0, 0)$ pour $\beta_m = 10^{-2}$ rad puis pour $\beta_m = 1$ rad ; qu'en conclure ?

A quelle condition a-t-on $dp/d\beta$ nul en $\beta = 0$? Qu'en conclure ?

Exo 14

Irisations d'une goutte d'huile.

Une goutte d'huile s'étale sur un sol mouillé ; la lumière du soleil qui s'y réfléchit fait apparaître des franges colorées. Quel est l'ordre de grandeur de l'épaisseur du film d'huile ?

Exo 15

Mesure de l'indice de l'air.

Sur l'un des bras d'un interféromètre de MICHELSON monté en lame d'air, on intercale une cellule d'épaisseur $e = 0,8$ cm traversée normalement par la lumière monochromatique avec $\lambda = 638$ nm. On fait progressivement le vide dans la cellule et on enregistre l'éclairement en fonction du temps au centre de la figure d'interférences. On relève la courbe de la figure 11 ; interpréter et en déduire l'écart $n - 1$ entre l'indice de l'air et celui du vide.

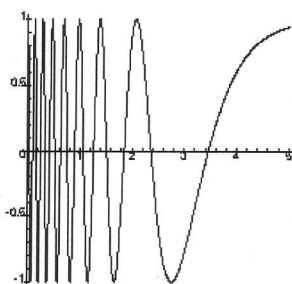


FIG. 11 -