

Exercice 1 : Vrai ou Faux

1. Faux
2. Vrai
3. Faux
4. Vrai

Exercice 2 : Fentes d'Young et lame de verre

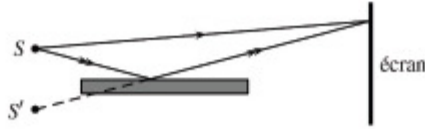
1. D'après le cours $p(x) = \frac{ax}{\lambda_0 f'}$; pour $\Delta p = 1$, on a $\Delta x = i$, soit $i = \frac{\lambda_0 f'}{a} = 0,6$ mm.
2. Comme on l'a vu en cours (notations du cours), $\delta(x)_{a,l} = (S_2 M)_{a,l} - (S_1 M)_{a,l} = (S_2 M)_{s,l} - [(S_1 I)_{a,l} + (IJ)_{a,l} + (JM)_{a,l}] = (S_2 M)_{s,l} - [(S_1 I)_{s,l} + (IJ)_{a,l} + (JM)_{s,l}] = (S_2 M)_{s,l} - [(S_1 I)_{s,l} + (IJ)_{s,l} + (JM)_{s,l} - (IJ)_{s,l} + (IJ)_{a,l}] = (S_2 M)_{s,l} - (S_1 M)_{s,l} + e - ne = \frac{ax}{f'} - (n-1)e$.

On en déduit $p_{a,l}(x) = \frac{ax}{\lambda_0 f'} - (n-1)\frac{e}{\lambda_0}$. Sans la lame, la frange centrale est en $x = 0$, car $p(x) = 0$ conduit à $x = 0$.

Avec la lame, la frange centrale est toujours caractérisée par $p_{a,l}(x) = 0$, soit $x = (n-1)\frac{ef'}{a} = 5.10^{-3}$ m ou 5 mm, qui correspond au décalage des franges.

Exercice 4 : Miroirs de Lloyd †

1. Les deux sources qui interfèrent sont la source S elle-même et la source S' image de S par le miroir (elles sont représentées sur la figure suivante). Ce sont deux sources ponctuelles, de même pulsation, mais aussi synchrones : elles sont donc cohérentes.
2. La marche des deux rayons lumineux qui parviennent en M sur l'écran est représentée sur la figure suivante.



On constate que ce sont bien deux rayons distincts issus de S qui donnent les deux rayons qui parviennent en M : le dispositif fonctionne bien par division du front d'onde.

3. Le champ d'interférences est limité au recouvrement des faisceaux lumineux issus de la source S et du faisceau lumineux réfléchi. Celui-ci est limité par les deux rayons, issus de S' , et qui s'appuient sur les bords du miroir. Le dispositif à division du front d'ondes étudié ici est éclairé par une source ponctuelle : les interférences ne sont pas localisées.

4. Les deux sources sont distantes de a et la distance entre les deux sources et l'écran est $d + \ell$. On en déduit les expressions demandées sans oublier le retard de phase égal à π , associé à la réflexion sur le miroir. L'abscisse $x = 0$ doit être positionnée sur l'axe médiateur des deux sources S et S' .

$$\begin{aligned} \bullet p(M) &= \frac{na x}{\lambda_0(d + \ell)} + \frac{1}{2}; \\ \bullet \delta(M) &= \frac{na x}{d + \ell} + \frac{\lambda_0}{2}; \\ \bullet \Delta\varphi(M) &= \frac{2\pi na x}{\lambda_0(d + \ell)} + \pi. \end{aligned}$$

5. L'éclairement au point M d'abscisse x est : $\mathcal{E}(x) = 2\mathcal{E}_0 \left(1 - \cos \left(\frac{2\pi na x}{\lambda_0(d + \ell)} \right) \right)$. L'éclairement ne dépend que de x : les franges sont donc rectilignes. Dans le cours, nous avons vu, dans le cas analogue des trous d'Young, qu'il était possible d'étendre la source dans une direction orthogonale à l'axe des deux sources sans que le contraste de la figure d'interférences ne soit affecté.

6. Si l'on rapproche la source S du miroir d'une distance $b/2$, alors la source S' se rapproche aussi de la même distance $b/2$. Par suite, la distance entre S et S' devient $a - b$ et l'ordre d'interférences au point M s'écrit alors (l'axe médiateur de S et S' n'est pas modifié, donc l'origine $x = 0$ reste la même) :

$$p'(M) = \frac{n(a - b)x}{\lambda_0(d + \ell)} + \frac{1}{2}.$$

La variation de l'ordre d'interférences au point M est : $\Delta p(M) = p'(M) - p(M) = -\frac{nbx}{\lambda_0(d + \ell)}$.

Considérons maintenant une source élargie de largeur totale b . Le calcul que nous venons de faire correspond à l'évaluation de la variation de l'ordre d'interférences lorsqu'on considère une source ponctuelle au centre de la source étendue puis sur son bord. On obtient donc : $|\Delta p(M)| = \frac{nb|x|}{\lambda_0(d + \ell)}$. Les franges restent visibles en M à condition que $|\Delta p(M)| \leq 1/2$, soit pour :

$$\frac{nb|x|}{\lambda_0(d + \ell)} \leq \frac{1}{2} \implies |x| \leq \frac{\lambda_0(d + \ell)}{2nb}.$$

L'interfrange se lit dans l'expression de l'éclairement en l'écrivant sous la forme : $\mathcal{E}(x) = 2\mathcal{E}_0 \left(1 - \cos \left(\frac{2\pi x}{i} \right) \right)$. On obtient : $i = \frac{\lambda_0(d + \ell)}{na}$. On en déduit finalement que les franges restent bien visibles pour x vérifiant la condition suivante :

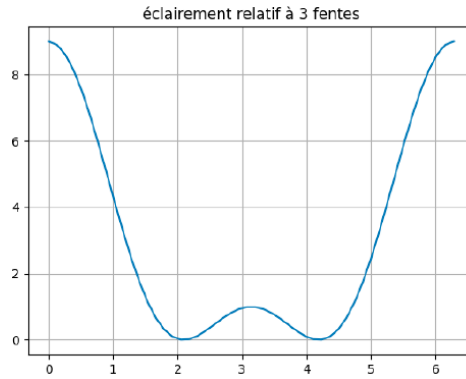
$$|x| \leq i \frac{a}{2n}.$$

Exercice 5 : trois trous d'Young ††

1. Elles sont cohérentes car elles sont issues d'un même point source, avec division du front d'onde.
2. S_1 et S_2 correspondent à 2 trous d'Young ; la différence avec le cours tient dans le fait que les deux trous sont décalés (pas symétriques par rapport à l'axe optique). Il n'y a alors pas de différence pour $\delta_{12} = \frac{ax}{f'}$, soit $\varphi(M) = 2\pi \frac{ax}{\lambda_0 f'}$; de même $\delta_{32}(M) = \frac{ax}{f'}$, soit $\varphi_{32}(M) = 2\pi \frac{ax}{\lambda_0 f'}$.
3. Notation complexe

$$(a) \underline{s} = a_1 e^{j\omega t} + a_2 e^{j(\omega t + \varphi)}, \text{ soit } I(M) = \frac{K}{2} (a_1 + a_2 e^{j\varphi}) \cdot (a_1 + a_2 e^{-j\varphi}) = \frac{K}{2} (a_1^2 + a_2^2 + a_1 a_2 (e^{j\varphi} + e^{-j\varphi})) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi)$$

(b) $s_3 = s_2 e^{j\varphi}$; $s_1 = s_2 e^{-j\varphi}$, soit $I(M) = \frac{K}{2} a_2 (e^{-j\varphi} + 1 + e^{j\varphi})^2 = I_2 (1 + 2 \cos(\varphi))^2$. Voir figure ci-dessous.



Exercice 6 : Michelson en lame d'air

1. On est au contact optique, on observe un écran avec un éclairage uniforme (teinte plate, car $\delta = 0$ partout).
2. On parle de Michelson réglé en lame d'air. Voir cours pour la construction.
3. Les interférences sont localisées à l'infini, on les observe donc dans le plan focal image de la lentille convergente.
4. L'ordre au centre vaut $p_c = \frac{2e}{\lambda_0} = 4028,6$ (qui n'est pas une frange claire ni sombre). La première frange claire (premier anneau) correspond à $p_1 = \frac{2e \cos(i)}{\lambda_0} = 4028$ avec $i = \frac{r_1}{f'}$ (r_1 étant le rayon de l'anneau sur l'écran) ; $\cos(i) = 1 - \frac{i^2}{2} = 1 - \frac{r_1^2}{2f'^2} = 4028 \cdot \frac{\lambda_0}{2e}$ soit $r_1 = f' \sqrt{2 \left(1 - 4028 \cdot \frac{\lambda_0}{2e}\right)} = 1,7$ cm. Le deuxième anneau correspond à $p_2 = 4027$, soit $r_2 = 2,8$ cm.
5. Le bras JA_2 est plus grand que JA_1 sans la lame, donc l'ajout de la lame a pour effet d'augmenter le chemin optique sur le bras JA_1 (n augmente) ; on a alors au centre $p_c = \frac{2e - 2(n-1)e_{lame}}{\lambda_0} = \frac{2(e - (n-1)e_{lame})}{\lambda_0}$. L'ordre au centre diminue de $\Delta p_c = -\frac{2ne_{lame}}{\lambda_0} = -17,8$; le nouvel ordre au centre est donc : $p'_c = 4010,76$; on trouve $r_1 = 1,9$ cm et $r_2 = 3,0$ cm.

Exercice 7 : Michelson et doublet du sodium †

- 1.
- 2.
- 3.
4. On note $p_1 = \frac{2\alpha x}{\lambda_1}$ l'ordre d'interférences pour λ_1 et p_2 celui pour λ_2 .
Lorsqu'il y a anti-coïncidence, $p_1 - p_2 = \frac{1}{2} + k$ où k est entier relatif. Avant le déplacement du miroir, la différence de marche en A_1 est $\delta = 2\alpha x = 0$ et après déplacement d'une distance d $\delta = 2d$ en A_1 ; on a alors $p_1 = \frac{2d}{\lambda_1}$ et $p_2 = \frac{2d}{\lambda_2}$. Le premier brouillage a lieu pour $k = 0$ soit

$$p_1 - p_2 \approx \frac{2d\Delta\lambda}{\lambda_m^2} = \frac{1}{2}$$

soit $\Delta\lambda = 0,58$ nm comme pour la question précédente.

5. $\ell_c = c\tau$ où τ est le temps de cohérence de la lampe. On a vu dans le cours que $\tau\Delta\nu \approx 1$, on a alors

$$\ell_c = c\tau = \frac{c}{\Delta\nu} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda} = 0,58 \text{ mm}$$

$\delta = 2d = 0,30 \text{ mm}$ est bien plus faible que ℓ_c . La disparition des franges est bien due à l'annulation du contraste et non à une différence de marche supérieure à la longueur de cohérence.

Exercice 8 : Michelson en coin d'air †

1. On a le schéma équivalent du Michelson en coin d'air d'arête A_1 de l'exercice précédent. M'_2 est le symétrique de M_2 par-rapport à la séparatrice. Ce dispositif est appelé "Michelson réglé en coin d'air". On se place en incidence normale par rapport au miroir M_1 . Les rayons qui interfèrent se coupent au point M situé au niveau des deux miroirs. C'est ici que sont localisées les interférences.
2. La lentille sert à conjuguer le plan du miroir M_1 et l'écran pour pouvoir observer les interférences sur l'écran. On appelle M' le conjugué de M à travers la lentille.
3. Comme déjà vu, $\delta(M) = 2\alpha x$, et donc $p(M) = \frac{2\alpha x}{\lambda_0}$. On a alors des franges brillantes pour $p(M) = k$ entier relatif, soit $x_k = k \frac{\lambda_0}{2\alpha}$. Les franges brillantes sont des droites parallèles à l'arête du coin d'air. Sur les miroirs, $i = x_{k+1} - x_k = \frac{\lambda_0}{2\alpha}$. Sur l'écran, l'interfrange i' sera affecté du grandissement (en valeur absolue, car l'interfrange est une grandeur positive) : $i' = 2 \frac{\lambda_0}{\alpha} = 3,75 \text{ mm}$
4. La nouvelle différence de marche devient $\delta_1 = 2\alpha x + 2\ell$; le grandissement étant $\gamma = -4$, on a alors $x' = \gamma x$. Le nouvel ordre d'interférences devient $p_1 = \frac{2\alpha x'}{\lambda_0 \gamma} + \frac{2\ell}{\lambda_0}$. L'ordre 0 est obtenu pour $x' = -\frac{\gamma\ell}{\alpha}$ alors qu'il était obtenu pour $x' = 0$ sans translation du miroir. Les franges se sont donc déplacées sur l'écran dans le sens des $x > 0$ d'une distance $-\frac{\gamma\ell}{\alpha}$.
5. **Sans lame** : on éclaire le coin d'air en lumière blanche. On repère la frange centrale blanche qui est bien contrastée. Les autres franges sont irisées. La frange centrale est obtenue pour $p = 0$, soit $x = 0$.

Avec lame : la nouvelle différence de marche vaut $\delta_2 = \delta - 2(n-1)e'$ (on a un signe "-" après δ car la différence de marche est calculée entre le rayon qui va vers M'_2 et celui qui va vers M_1).

Le nouvel ordre vaut $p_2 = \frac{2\alpha x}{\lambda_0} - \frac{2(n-1)e'}{\lambda_0}$. On retrouve la frange centrale pour $p_2 = 0$ soit $x = \frac{(n-1)e'}{\alpha}$, ou $x' = \frac{\gamma(n-1)e'}{\alpha}$ sur l'écran. La mesure du déplacement x' permet d'en déduire l'indice moyen n ou l'épaisseur e' .