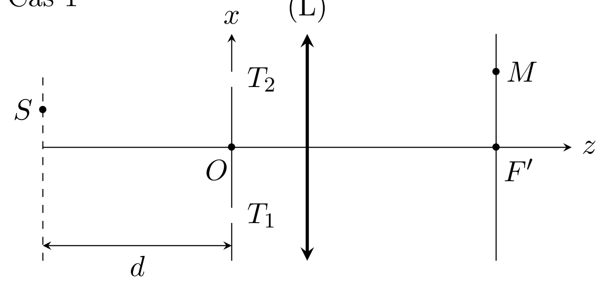
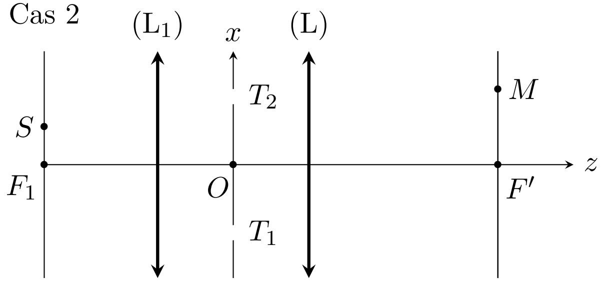
1 Montages avec les trous d'Young

On considère les deux montages ci-dessous. Dans les deux cas l'observation des interférences se fait en un point M du plan focal image de la lentille convergente (L) de distance focale image f' (on supposera que le point M est situé dans le plan de la figure). On posera $T_1T_2 = a$.

Cas 1



Cas 2



1) <u>Cas 1</u> : la source ponctuelle S a les coordonnées $(x_S, 0, -d)$ avec $|x_S| \ll d$ et $a \ll d$. Tracer les deux rayons lumineux qui viennent se superposer en M et calculer la différence de marche $\delta(M)$.

2) <u>Cas 2</u> : la source ponctuelle S est située dans le plan de la figure et dans le plan focal objet d'une lentille convergente (L_1) de distance focale image f_1'. L'abscisse de S est $x_S > 0$. Tracer à nouveau les deux rayons lumineux qui viennent se superposer en M et calculer la différence de marche $\delta(M)$.

2 Miroir de Lloyd

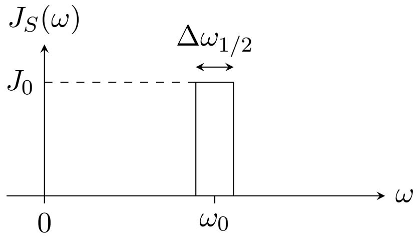
Une source ponctuelle S émet une lumière formée d'une raie quasi-monochromatique de longueur d'onde centrale $\lambda = 600$ nm. Le faisceau lumineux émis éclaire un miroir plan de côté $AB = 24$ cm. On donne $OA = 1$ cm et $h = 0{,}25$ mm. Le milieu ambiant est l'air, dont l'indice est supposé égal à 1 exactement.

1) Indiquer la région de l'écran où se superposent les deux faisceaux qui interfèrent. À partir de quelle hauteur L sur l'écran n'observe-t-on plus le phénomène ?

2) On suppose que $|\delta| \ll \ell_c$ dans tout le champ d'interférences. Déterminer le nombre de franges brillantes et sombres observées sur l'écran.

3 Raie à profil rectangulaire

Une source ponctuelle S émet une lumière formée d'une seule raie spectrale que l'on modélise à une raie à profil rectangulaire comme indiqué ci-dessous :



avec $\Delta\omega_{1/2}/\omega_0 \ll 1$. On utilise un montage d'interférence dans lequel $\kappa_1 = \kappa_2 = \kappa$ (les trous d'Young par exemple).

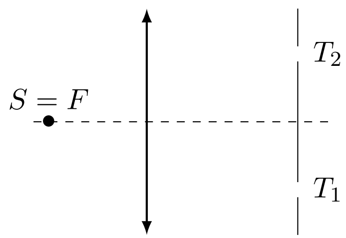
1) Déterminer l'intensité $I(M)$ en un point M où la différence de marche est δ. On exprimera $I(M)$ en fonction de δ, λ_0 (longueur d'onde centrale de la raie), $\Delta\omega_{1/2}$, J_0 et κ.

2) On suppose que la durée de cohérence est $\tau_c = \pi/\Delta\omega_{1/2}$. Donner l'expression de $I(M)$ en fonction de δ/ℓ_c où ℓ_c est la longueur de cohérence de la lumière utilisée.

3) Représenter I en fonction de δ.

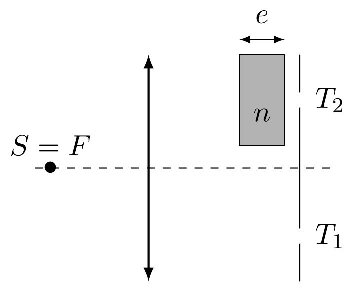
4 Trous d'Young et lame de verre

Deux petits trous identiques T_1 et T_2 percés dans un écran opaque (P) et séparés d'une distance a sont éclairés à l'aide d'une source ponctuelle S placée au foyer objet d'une lentille mince convergente (L).



1) a) Calculer la différence de marche $\delta(M)$ entre les deux ondes qui se superposent en un point M d'un écran placé à une distance D après les deux trous. On notera (x, y, D) les coordonnées de M, dans une repère $(Oxyz)$ où O est le milieu de T_1 et T_1, et on supposera que $D \gg a$, $D \gg |x|$ et $D \gg |y|$.

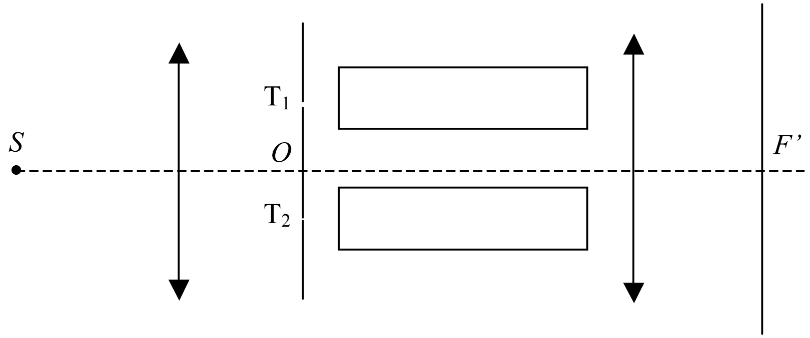
b) En supposant que la lumière émise par S soit constituée d'une seule raie quasi-monochromatique de longueur d'onde centrale λ_0, donner l'expression de l'intensité $I(M)$ dans le cas où $|\delta(M)| \ll \ell_c$. Quel est l'interfrange i ?



2) On place devant T_2 une lame de verre à faces parallèles d'épaisseur $e = 0{,}10$ mm et d'indice $n = 1{,}50$ pour la longueur d'onde étudiée. Montrer que le système de franges est translaté d'une distance d que l'on exprimera en fonction de n, e, a et D. Calculer numériquement d si $a = 1{,}0$ mm et $D = 1{,}0$ m. L'interfrange est-il modifié ?

5 Mesure de l'indice d'un gaz

Deux trous d'Young sont disposés entre deux lentilles minces convergentes. Une source ponctuelle S émettant une raie quasi-monochromatique de longueur d'onde centrale $\lambda = 598$ nm, est placée au foyer objet de la première lentille. Un écran d'observation est situé au foyer image F' de la deuxième lentille.



On place sur les trajets deux cuves identiques de longueur $L = 190$ cm. L'indice de l'air est $n_a = 1{,}0002926$. On remplace progressivement l'air de la cuve supérieure par du monoxyde de carbone $CO_{(g)}$ d'indice n'. Pendant l'expérience, on voit défiler au centre O du champ d'interférence 134 franges brillantes vers le haut. Calculer n'. On supposera que $|\delta(F')| \ll \ell_c$ dans toute l'expérience.

6 Trous d'Young et source étendue

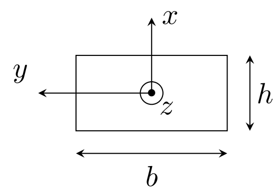
Deux trous d'Young T_1 et T_2 sont percés dans un écran opaque et sont distants de a. L'espace est rapporté à un repère $(Oxyz)$ où O est le milieu de T_1 et T_2, (Ox) l'axe défini par T_1 et T_2 et (Oz) l'axe perpendiculaire à l'écran opaque dans lequel sont percés les deux trous. Le dispositif est éclairé par une source ponctuelle S, émettant une lumière formée d'une seule raie quasi-monochromatique de longueur d'onde centrale λ et placée dans un plan (P) orthogonal à Oz et situé à la distance d devant le plan des deux trous : les coordonnées de S sont donc $(x_S, y_S, -d)$. On supposera que $|x_S| \ll d$, $|y_S| \ll d$ et $a \ll d$.

On observe la figure d'interférence sur un écran (E) placé à une distance D du plan des deux trous, en un point $M(x, y, D)$, tel que $|x| \ll D$, $|y| \ll D$ et $a \ll D$.

1) Compte tenu des hypothèses, déterminer l'expression approchée de la différence de marche $\delta(M)$ entre les deux rayons qui interfèrent en M, en fonction de x, x_s et des paramètres du montage.

2) On suppose que $|\delta| \ll \ell_c$. Décrire ce qui est observé sur l'écran (E). Où est située la frange d'ordre $p = 0$? Quelle est l'expression de l'interfrange ?

3) La source est maintenant étendue (D) et en forme de fente rectangulaire de largeur b et de hauteur h comme indiqué sur la figure ci-dessous.



On admet que chaque petit élément de surface $\mathrm{d}x_S \mathrm{d}y_S$ centré autour d'un point S de coordonnées $(x_S, y_S, -d)$ de cette source étendue se comporte comme une source ponctuelle qui émet une intensité $\delta I_S = K\,\mathrm{d}x_S\,\mathrm{d}y_s$ où K est une constante qui ne dépend pas de la position de S.

Calculer l'intensité totale $I(M)$ résultant au point M des contributions de tous les points constituant la fente source et la mettre sous la forme :

$$I(M) = I_0\left[1 + V\cos\left(\frac{2\pi a x}{\lambda D}\right)\right]$$

où $I_0 = Khb$. Déterminer l'expression du facteur V en fonction de a, h, λ et d.

4) Calculer le contraste C défini par :

$$C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

en fonction de V. Donner un ordre de grandeur de h au delà duquel l'intensité sur l'écran devient uniforme. Application numérique avec $a = 0{,}1$ mm, $d = 50$ cm et $\lambda = 546$ nm.

7 Doublet jaune du sodium

Donnée : $\cos(p) + \cos(q) = 2\cos\left(\frac{p+q}{2}\right)\cos\left(\frac{p-q}{2}\right)$

Le spectre d'émission du sodium contient deux raies quasi-monochromatiques très proches de longueurs d'onde centrales $\lambda_a = 589{,}0$ nm et $\lambda_b = 589{,}6$ nm et de longueurs de cohérence respectives ℓ_{ca} et ℓ_{cb}. C'est le doublet jaune du sodium.

On utilise une lampe à vapeur de sodium et un diaphragme circulaire pour réaliser une source ponctuelle S qui éclaire le dispositif des trous d'Young.

1) Déterminer l'intensité lumineuse $I(M)$ en un point M du champ d'interférence où la différence de marche est δ, avec $\delta \ll \min(\ell_{ca}, \ell_{cb})$. On notera I_{Sa} et I_{Sb} les intensités de chacune des deux raies du doublet jaune.

2) On suppose que $I_{Sa} = I_{Sb} = I_0$. Montrer que l'intensité lumineuse en M s'écrit en fonction de δ sous la forme :

$$I(\delta) = KI_0\left[1 + \cos\left(\frac{\pi(\lambda_b - \lambda_a)}{\lambda_a\lambda_b}\,\delta\right)\cos\left(\frac{\pi(\lambda_a + \lambda_b)}{\lambda_a\lambda_b}\,\delta\right)\right]$$

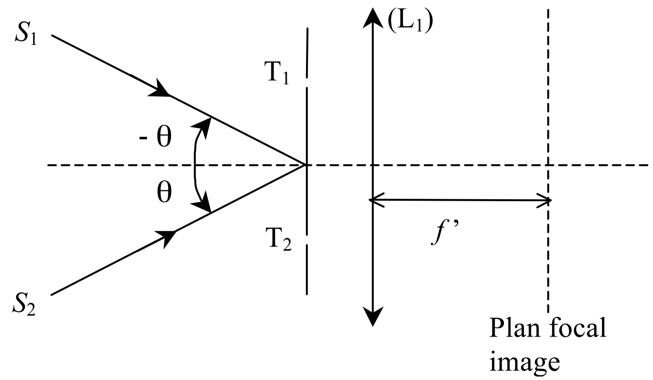
où K est une constante.

3) Représenter l'évolution de I en fonction de δ.

8 Figure d'interférence produite par deux étoiles

L'axe optique d'une lentille mince convergente (L_1), de distance focale image $f' = 1{,}0$ m, est dirigé vers le centre d'un groupe de deux étoiles très voisines S_1 et S_2 que l'on supposera ponctuelles étant donné leur éloignement. Elles émettent une lumière que l'on fait passer à traver un filtre interférentiel, ce qui produit une lumière quasi-monochromatique de longueur d'onde centrale λ et on suppose que leurs intensité sont égales : on aura donc $I_1 = I_2 = I_0$. De plus on suppose que $|\delta| \ll \ell_c$.

On place devant (L_1) un écran percé de deux trous d'épingles T_1 et T_2 dont on peut faire varier la distance e.



Formulaire : $\cos(a \pm b) = \cos(a)\cos(b) \mp \sin(a)\sin(b)$

1) Montrer que, pour une valeur donnée de e, on observe en général des franges d'interférence rectilignes dans le plan focal image de L_1. Déterminer l'interfrange i. Application numérique : $e = 6{,}0$ mm et $\lambda = 0{,}60$ μm.

2) Montrer que les franges d'interférence disparaissent pour certaines valeurs de e. La plus petite distance entre T_1 et T_2 pour laquelle les franges disparaissent est $e_m = 52$ mm. Quelle est la distance angulaire $\varepsilon = 2\theta$ entre les deux étoiles ?