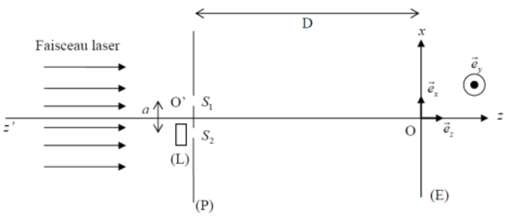
Interférence à deux ondes

Activité 1 : application du cours

On considère le système interférentiel des trous d'Young baignant dans l'air assimilé à du vide. Un laser envoie un faisceau parallèle dont la longueur d'onde dans le vide est λ_0. Les rayons passants par S_2 traverse un milieu (L) d'indice n et d'épaisseur e. La distance $S_1S_2 = a = 1mm$ et $D = 1m$. Soit $M(x, y, 0)$ un point quelconque de l'écran où sont observées les interférences et tel que $x \ll D$, $y \ll D$ et $a \ll D$.



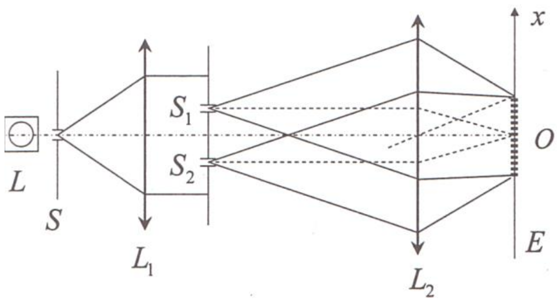
1) Si $n = 1$, donner l'expression de la différence de marche δ en un point de l'écran.
2)
   a) (L) est maintenant du verre d'indice $n = 1{,}5$. Donner l'expression de la différence de marche δ' en un point de l'écran.
   b) Sachant que $e = 20\mu m$, où se situe la frange d'ordre de zéro (appelée frange centrale) ?
   c) Reprendre la question précédente si (L) est placée en entrée de S_1.

Activité 2 : Problème de physique

Dans l'expérience des fentes de Young, avec une source S ponctuelle et monochromatique, les sources secondaires sont distantes de $a = S_1S_2 = 1mm$ et la distance des fentes à l'écran est $D = 1m$. La distance sur l'écran E entre les franges brillantes d'ordre -3 et 3 est $\Delta x = 3mm$; que peut-on déduire ?

Activité 3 : Etude expérimentale des fentes d'Young

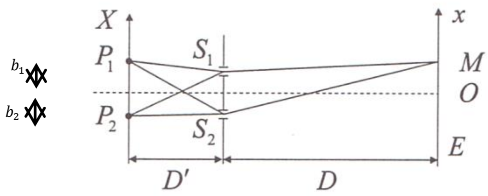
Afin d'observer une figure d'interférence plus lumineuse et plus étendue (les trous d'Young étant petits, peu de lumière est transmise), on utilise des fentes d'Young distante de a éclairées par une fente source S monochromatique de longueur d'onde λ_0. La lentille L_1 permet d'avoir un pinceau de lumière parallèle et la lentille de projection L_2 (de distance focale f' et stigmatique dans les conditions de Gauss supposées réalisées) concentre la lumière dans son plan focal où l'on place l'écran E :



1) Déterminer la différence de marche $\delta(x)$ en fonction de a, x et f' ainsi que l'interfrange dans cette situation.
2) Déterminer le nombre de franges brillantes observables si la largeur b des fentes est $b = 0{,}1mm$ et si la distance entre les fentes est $a = 0{,}5mm$ en tenant compte du phénomène de diffraction.

Activité 4 : Cohérence spatiale

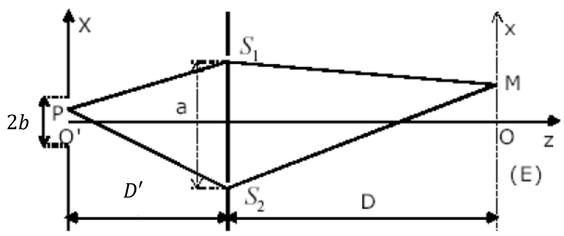
Une source formée de deux sources ponctuelles P_1 et P_2 incohérentes entre elles, sur un axe parallèle à celui de S_1S_2 à une distance D' éclaire le dispositif des trous d'Young. Les deux sources sont supposées monochromatiques, de longueur d'onde λ_0 et de même amplitude. La distance $S_1S_2 = a$ est telle que $a \ll D$ et $OM \ll D$. On a aussi $b_1, b_2 \ll D'$.



1) Expliquer qualitativement que la figure d'interférence peut se brouiller pour plusieurs valeurs de la distance P_1P_2.
2) Quelle est la dimension b maximale (dite largeur de cohérence) d'une source étendue ou d'une fente dite fine permettant d'observer la figure d'interférence avec un bon contraste ? $a = 0{,}5mm$, $\lambda = 500nm$, $D' = 1m$ et $b_1, b_2 \ll D'$. On pourra supposer que $b_1 = b_2$ pour simplifier les calculs.

Pour aller plus loin (***) :

On utilise maintenant le dispositif ci-dessous.

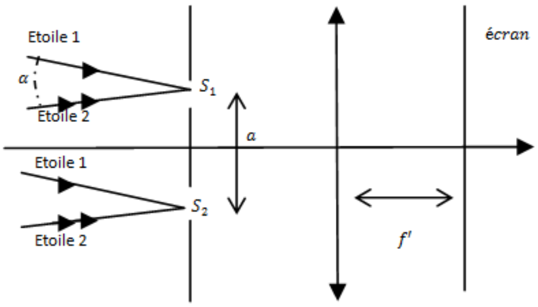


La source est une fente de largeur $2b$ et de hauteur $h \gg 2b$ (diffraction dans le plan de (xOz) uniquement). Chaque point de la source émet une amplitude de vibration identique.

3) Donner l'expression du contraste en fonction de la largeur b. On notera $d\varepsilon(M) = K\left(1 + cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\left(\frac{xa}{D} + \frac{aX}{D'}\right)\right)dX\right.$ l'éclairement élémentaire d'une fente élémentaire de la largeur dX avec K constante. Proposer une application numérique définissant une fente source fine

Activité 5 : Problème de physique (étoiles double)

On considère deux étoiles à l'infini faisant entre elles un angle α très faible, de même éclairement $\mathcal{E}_0$ et assimilables à deux sources ponctuelles non cohérentes entre elles.



On place un filtre devant les fentes de Young afin de ne conserver qu'une seule longueur d'onde $\lambda_0 = 0{,}5\mu m$ (longueur dans le vide-le milieu du travail étant aussi assimilé à du vide). Les fentes sont distantes de a qui est une valeur réglable jusqu'à $a_{max} = 50cm$. L'observation se fait sur un écran à l'aide d'une lentille de distance focale f'. Déterminer l'angle minimal mesurable associé à la première annulation du contraste.

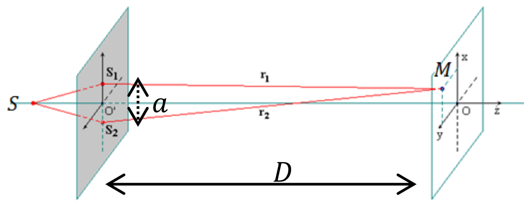
Activité 6 : Cohérence temporelle

Une raie n'est jamais parfaitement monochromatique car un atome émet un train d'onde de fréquence ν_0 pendant une durée τ_0 (et pas pendant un temps infini). L'analyse de Fourier associe à ce type de signal une largeur spectrale $\Delta\nu$ avec $\tau_0 \Delta\nu = 1$.

1) Justifier qualitativement que la différence de marche δ introduite par un système interférentiel de type fentes d'Young ne peut permettre l'observation d'interférences que si δ est inférieure à une valeur δ_{max} que l'on exprimera.

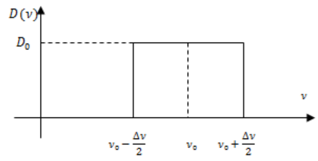
L'utilisation de sources qui ne sont pas parfaitement monochromatiques avec le système des fentes d'Young conduit à superposer des figures d'interférences propres à chaque longueur d'onde : une perte de contraste est alors possible !

2) On considère une source ponctuelle S rayonnant deux vibrations lumineuses sinusoïdales de même amplitude, de fréquences respectives ν_1 et $\nu_2 > \nu_1$ et éclairant des fentes d'Young (cf. schéma ci-dessous-notations identiques à celles du cours). Montrer qu'il est possible d'obtenir une annulation du contraste en certains points du plan d'observation. Le milieu est d'indice optique unitaire.



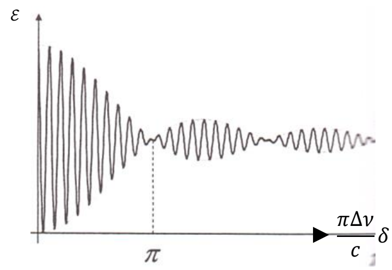
Pour aller plus loin (***)

Nous allons maintenant décrire une source à l'aide d'une densité spectrale $D(\nu)$ rectangulaire ($[D(\nu)] = W.m^{-2}.Hz^{-1}$).



La source considérée est ponctuelle et éclaire un dispositif de trous d'Young identique au précédent. La source émet une superposition d'ondes quasi-monochromatiques de fréquence ν et de largeur $d\nu$ auxquelles on peut associer un éclairement $d\varepsilon(M) = 2D_0\left(1 + cos\left(\frac{2\pi\nu}{c}\delta(M)\right)\right)d\nu$. $\delta(M)$ donne la différence de marche en Met c la vitesse de l'onde dans l'air assimilé à du vide.

3) Déterminer l'éclairement puis le contraste observé et retrouver le résultat de la question précédente.
4) Expliquer le tracé de l'éclairement ci-dessous.



5) Est-il possible d'apprécier facilement en TP cette annulation de contraste avec le dispositif des fentes d'Young en utilisant une lampe spectrale dont la longueur de cohérence est de l'ordre du centimètre ?

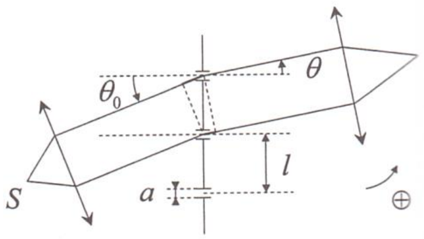
Activité 7 : Interférence entre ondes cohérentes d'amplitude différente

On considère l'interférence entre deux ondes cohérentes émises par le dispositif des trous d'Young plongés dans l'air assimilé à du vide. Ces trous n'ont pas tout à fait la même taille ce qui se traduit par une amplitude maximale différentes pour les deux vibrations lumineuses qui seront notées respectivement A et rA avec $0 < \alpha \leq 1$.

1) Tracer le graphe donnant le contraste C en fonction de α
2) Pourquoi cherchons-nous à faire interférer des vibrations de même d'amplitude ? Commenter pour $r \geq 0{,}5$

Activité 8 : Etude du réseau par transmission

Un réseau par transmission est constitué de N fentes parallèles, distantes de l (on parle de pas du réseau) et de même largeur a. Ce réseau peut être obtenu par gravures de sillons sur une plaque en verre. Typiquement, nous aurons $l \approx 1\mu m, a \approx 500nm$.



On éclaire un réseau avec un pinceau de lumière parallèle de longueur d'onde $\lambda_0 = 500nm$ (dans le vide) et on observe la figure d'interférence à l'infini -montage dit de Fraunhofer). Les ondes diffractées par chaque motif interférent du fait de leur cohérence.

1) S'appuyer sur le dessin ci-dessus pour obtenir la formule du réseau par transmission donnant l'expression de θ_m, direction pour laquelle est obtenu un maximum de lumière pour un ordre donné repéré par l'entier m ($m \in \mathbb{Z}$).
2) On se place en incidence normale.
   a) Combien d'ordre peut-on voir ? Sommes-nous limités par la diffraction ?
   b) Pourquoi le réseau est-il un appareil disperseur ? L'est-il pour tous les ordres ? Connaissez-vous un autre dispositif dispersif ?
   c) Ecrire la relation des réseaux dans le cas des faibles angles. Comment varie la dispersion avec l ?

Activité 9 : Spectroscopie par réseau

Un réseau éclairé normalement avec la raie verte du mercure $\lambda = (546{,}1 \pm 0{,}5)nm$ donne un maxima pour le deuxième ordre $m = 2$ dans la direction $\theta_2 = (36°40' \pm 0{,}5°)$

Quel est le nombre l^* de trait pas mm de ce réseau ? Estimer son incertitude.

Activité 10 : Réflexion sur un réseau (8fa6-1760691)

Activité 11 : Démarche expérimentale

Au cours d'une conférence présentant l'iPhone 4 et son écran Rétina, Steve Jobs a affirmé que « le nombre de pixels des écrans Rétina permet de satisfaire la résolution limite de l'œil lorsqu'on regarde un écran à 10 pouces ».

Proposer puis réaliser un protocole permettant de valider cette affirmation de Steve Jobs. (On rappelle qu'un pouce = 2,54 cm).