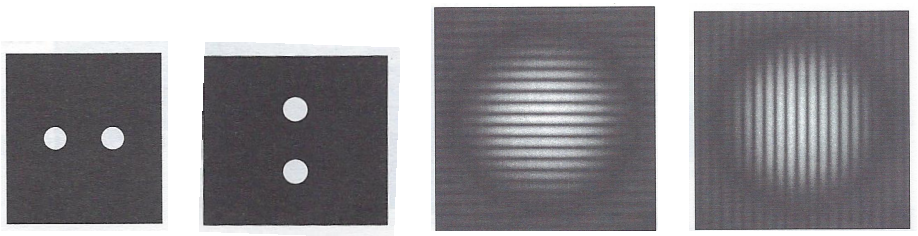
TD EM 9 Interférences lumineuses

1 Trous d'Young et figure d'interférence

Associer les figures d'interférence obtenues (figures a) et b)) aux écrans (figures 1. et 2.) ayant permis de les obtenir.



1. 2. a) b)

2 Expérience des trous d'Young

On réalise l'expérience des deux trous d'Young. L'écran est placé à une distance $D = 2,0$ m du plan des trous d'Young. Les deux trous sont éclairés par une diode laser : $\lambda_0 = 532$ nm ; L'interfrange mesurée sur l'écran est $i = 2,7$ mm. Quelle est la distance a entre les deux trous ?

Réponse : $a = 0,39$ mm

3 Interfrange

On réalise une expérience d'interférence avec deux trous d'Young dans l'air. On obtient une interfrange $i_0 = 2,0$ mm. Le dispositif est alors totalement immergé dans l'eau d'indice $n_1 = 1,33$.
Quelle est la nouvelle valeur de l'interfrange ?

Réponse : $i = 1,50$ mm

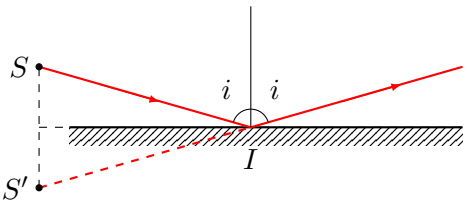
4 Trous d'Young

On considère le dispositif des trous d'Young. Les deux trous sont identiques, mais l'un des deux trous est recouvert d'une lame qui ne laisse passer que 50% de l'intensité incidente et qui n'introduit aucune différence de marche notable.
Qu'y a-t-il de changé par rapport à la situation où les deux trous sont identiques ?

Réponse : on observe une baisse du contraste : $\mathcal{C} = 0,94$

5 Miroir de Lloyd ⋆

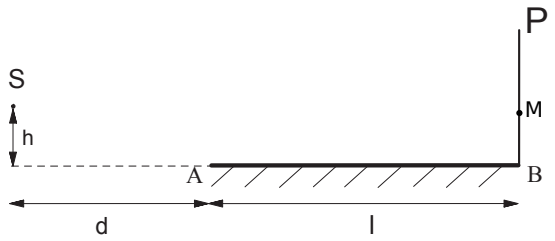
Préambule : construction d'un rayon réfléchi
On considère un rayon lumineux émis par la source S qui se réfléchit sur la surface plane d'un miroir. Le rayon réfléchi fait le même angle i avec la normale en I au plan du miroir que le rayon incident. Ce rayon passe donc par S' le symétrique de S par rapport au plan du miroir.



Ainsi, pour construire rapidement un rayon réfléchi, on commence par placer S'. Le rayon réfléchi est alors donné par la direction de $S'I$ avec I le point d'intersection du rayon incident avec le plan du miroir.

Application

Le dispositif interférentiel, représenté sur la figure ci-contre est appelé miroir de Lloyd. La source ponctuelle S, située à une distance h d'un miroir plan de côté $AB = l = 24$ cm, émet dans toutes les directions une onde lumineuse de longueur d'onde $\lambda_0 = 6,0.10^{-7}$ m. La distance $d = 1,0$ cm et $h \ll d$.

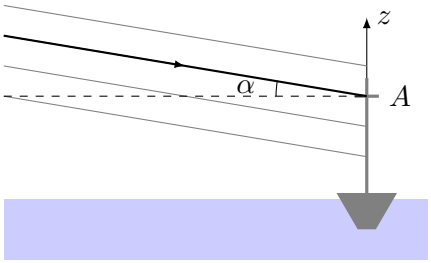


1. Construire soigneusement le champ d'interférence, c'est-à-dire la zone où se superposent le faisceau directement émis par S et le faisceau réfléchi sur le miroir. Construire également les deux rayons qui interfèrent au point M du plan $\mathcal{P}$.
2. En faisant l'analogie avec l'expérience des trous d'Young, donner l'expression de l'interfrange en fonction des caractéristiques géométriques et optiques du système.
3. L'interfrange étant trop faible, on réalise avec un dispositif approprié, une image agrandie cinq fois du champ d'interférence. L'interfrange mesuré vaut alors $1,5$ mm. En déduire la distance h.
4. On observe expérimentalement une frange sombre en B. Montrer que ce résultat est en accord avec l'apparition d'un déphasage de π à la réflexion sur le miroir.

Réponses : $i = \frac{\lambda_0(d+l)}{2h}$; $h = 0,25$ mm.

6 Réception d'un signal radio émis depuis la côte par un bateau ⋆⋆.

Un bateau navigue en mer à une distance $D = 10$ km de la côte. À bord du bateau, on souhaite capter une émission radio FM de fréquence $f_0 = 100$ MHz à l'aide d'une antenne réceptrice A placée sur le mat du bateau.



L'émetteur est situé sur la côte, à une hauteur H au dessus du niveau de la mer. L'onde émise est assimilable au niveau du bateau à une onde plane dont la direction de propagation fait un angle α avec l'horizontale.

Par temps calme et mer plate, la surface de la mer se comporte comme un miroir parfaitement réfléchissant et la réflexion de l'onde introduit un déphasage de π.

Le récepteur, placé à une altitude z au dessus du niveau de la mer, reçoit un rayon provenant directement de l'émetteur et un rayon réfléchi.

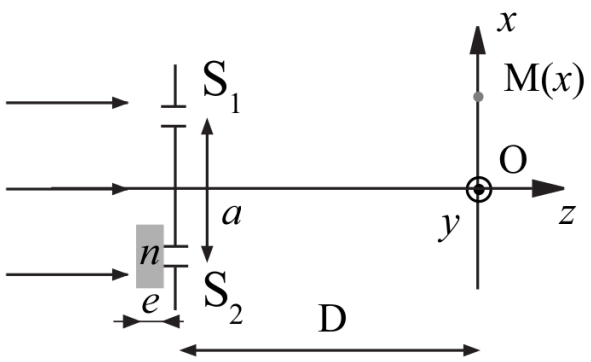
1. Déterminer l'expression de α. On pourra remarquer que $D \gg H$.
2. Tracer le parcours du rayon réfléchi qui atteint A.
3. Calculer la différence de marche entre les deux rayons qui interfèrent en A en fonction de z et α, puis en fonction de z, H et D.
4. Quel est l'équivalent du déphasage de π en terme de différence de marche.
5. Déterminer l'intensité perçue pour une altitude z donnée. Que peut-on dire de sa valeur en $z = 0$?
6. Montrer que le récepteur doit être placé suffisamment haut sur le mat pour que le signal émis soit correctement reçu. On pourra s'appuyer sur une application numérique effectuée pour $H = 30$ m et pour $H = 300$ m.

Réponse : premier maximum de réception pour $z = \frac{\lambda_0}{4\sin\alpha} \simeq \frac{\lambda_0 D}{4H}$.

7 Lame à faces parallèles

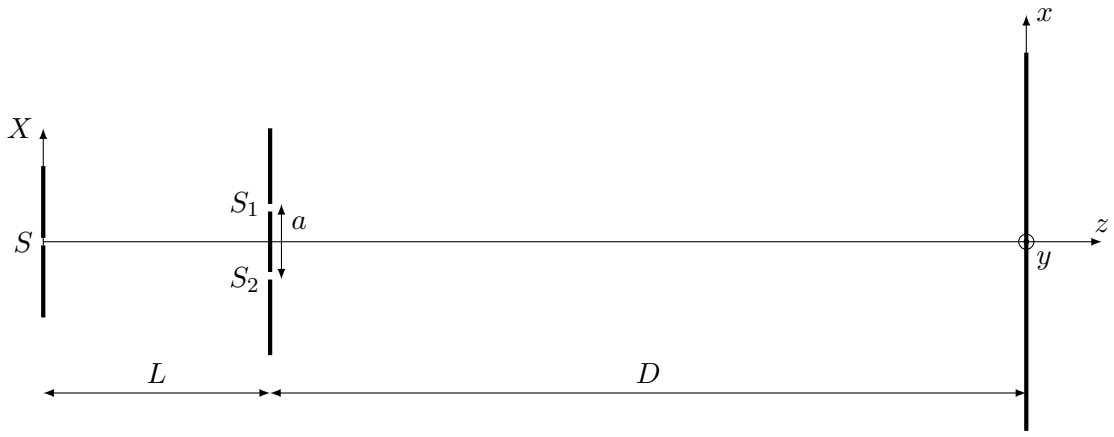
Un laser, de longueur d'onde dans le vide λ, émet un faisceau lumineux cylindrique d'axe Oz. Il éclaire entièrement et de manière uniforme les deux ouvertures de faibles dimensions et distantes de a. Cette distance est très petite par rapport à la distance d'observation D, et le point M est proche du point O. On peut considérer que a, x, y sont très petits devant D. Devant l'un des trous, on ajoute une petite lame à faces parallèles, d'épaisseur e et d'indice n

1. Calculer la différence de chemin optique $\delta(M)$ au point M entre les rayons issus de chacune des ouvertures en fonction de n, e, a, x et D.
2. En déduire l'expression de l'intensité lumineuse $I(M)$ et représenter graphiquement $I(x)$.
3. Déterminer la position de la frange d'ordre 0. Dans quel sens se déplace la figure d'interférences si l'on enlève la lame de verre ?



8 Oral ATS 2018

On considère le dispositif des trous d'Young représenté ci-dessous :



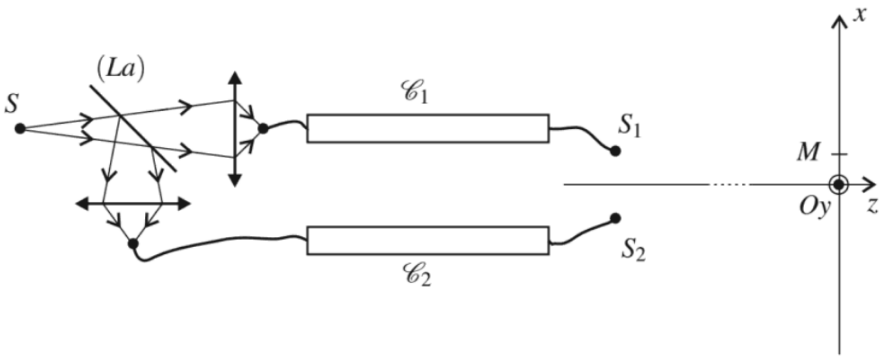
1. Calculer la différence de marche $\delta = (SS_2M) - (SS_1M)$. On prendra l'indice de l'air $n_{\text{air}} = 1$ et on précisera les approximations effectuées.
2. On déplace la source S le long de l'axe OX de telle sorte que son abscisse X soit non nulle. Montrer qualitativement, en précisant les approximations effectuées, que la différence de marche devient

$$\delta = \frac{ax}{D} + \frac{aX}{L}$$

3. Déterminer l'abscisse x_0 de la frange correspondant à l'ordre 0.

9 Détecteur interférométrique à concentration ⋆⋆⋆

Le faisceau émis par une source S monochromatique de longueur d'onde $\lambda_0 = 590$ nm est dédoublé par une lame semi-réfléchissante (La) en deux faisceaux qui sont injectés dans deux fibres optiques. Les rayons lumineux guidés par ces fibres traversent deux cuves transparentes $\mathscr{C}_1$ et $\mathscr{C}_2$ identiques et sortent de la fibre optique en deux points S_1 et S_2 tels que $S_1S_2 = a$. Un écran d'observation est disposé parallèlement à l'axe $S_1S_2 = a$ à distance $D \gg a$ de celui-ci.
Le dispositif (présenté sur la figure ci-dessous) est réglé de telle manière que les chemins optiques (SS_1) et (SS_2) sont rigoureusement identiques lorsque les cuves sont vides.



(a) Les cuves sont initialement remplies d'air dans les conditions standard de température et de pression ; on note n_1 l'indice de l'air dans ces conditions supposées réalisées à l'extérieur des cuves également. Donner une expression de l'intensité $I(x)$ observée sur l'écran au voisinage de O en fonction de sa valeur moyenne I_m , de x et des paramètres utiles du problème.

(b) Dans la cuve $\mathscr{C}_2$, on remplace progressivement l'air par du monoxyde de carbone CO. On note n_2 l'indice optique atteint lorsque le monoxyde de carbone CO a totalement remplacé l'air dans $\mathscr{C}_2$. On constate que lors de ce remplacement les franges se déplacent vers le haut.

i. Quel est le signe de $n_2 - n_1$?

ii. Soit n l'indice du mélange {air + CO} en cours de remplissage. Donner l'expression de l'intensité $I(x)$ au cours du remplissage en fonction de I_m, x, n_1 , n et L (longueur intérieure des cuves).

iii. On note que 70 ± 1 franges passent en O au cours de l'expérience. Sachant que $L = 1,00$ m et $n_1 = 1,0002926$, calculer n_2 et évaluer l'incertitude sur le résultat.

(c) $\mathscr{C}_1$ et $\mathscr{C}_2$ étant à nouveau remplies d'air, on introduit dans $\mathscr{C}_2$ une petite quantité de CO. On admet que la variation d'indice est proportionnelle à la fraction molaire f de CO dans celui-ci ; l'indice du mélange est donc $n = n_1 + (n_2 - n_1)f$.
Calculer la plus petite fraction molaire f_{min} détectable dans l'hypothèse où le plus petit déplacement décelable des franges est égal à $i/10$.

Réponses :

(a) $I(x) = I_m \left(1 + \cos \frac{2\pi n_1 a x}{\lambda_0 D}\right)$

(b) i. $n_2 < n_1$

ii. $I(x) = I_m \left(1 + \cos \left(\frac{2\pi n_1 a x}{\lambda_0 D} + \frac{2\pi (n-n_1) L}{\lambda_0}\right)\right)$

iii. $n_2 = 1,0002513 \pm 0,0000006$

(c) $f_{\text{min}} = 1,4.10^{-3}$