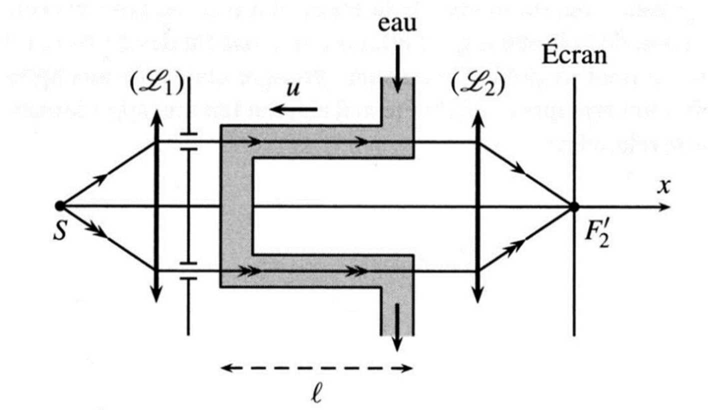
Interférences

Exercice 1 : Expérience de Fizeau

En 1851, Fizeau réalise l'expérience d'interférométrie suivante afin de vérifier l'hypothèse émise par Fresnel selon laquelle la vitesse de la lumière mesurée dans un référentiel en mouvement par rapport à l'éther n'obéissait pas à la loi de composition des vitesses galiléenne.



La source ponctuelle S est supposée monochromatique $(\lambda_0 = 530\,\text{nm})$ même si Fizeau utilisa la lumière solaire. L'eau, initialement au repos, est mise en mouvement avec un vitesse d'écoulement constante u. On notera $v = \frac{c}{n}$ la vitesse de la lumière dans l'eau.

1- Exprimer la différence de temps de propagation entre les deux rayons qui interfèrent en F'_2 et en déduire la différence de marche δ correspondantes :

1a- en utilisant la loi de composition des vitesses galiléenne : $\vec{v'} = \vec{v} - \vec{u}$ où $\vec{v'}$ est la vitesse mesurée dans le référentiel $\mathscr{R}'$ en translation à la vitesse $\vec{u} = u.\vec{e_x}$ par rapport au référentiel $\mathscr{R}$ où est mesurée $\vec{v}$.

1b- en utilisant la loi de composition des vitesses relativistes (avec les mêmes notations) :

$$v'_x = \frac{v_x - u}{1 - \frac{u.v_x}{c^2}}$$

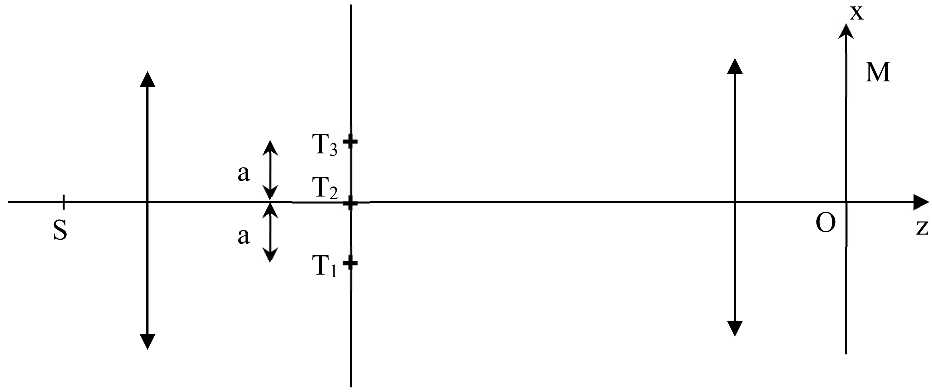
2- L'expérience de Fizeau consiste à observer les franges d'interférences avec l'eau immobile $(u = 0)$ puis à mesurer le déplacement des franges, dans les deux cas ci-dessus (galiléen et relativiste).

Déterminer la vitesse d'écoulement u permettant d'avoir une frange sombre en F'_2.

3- Les valeurs des différents paramètres correspondant à l'expérience historique de Fizeau sont $n = 1{,}33$; $\ell = 1{,}5\,\text{m}$ et $u = 7{,}0\,\text{m.s}^{-1}$. Quelle est la loi de composition des vitesses qui donnent un résultat théorique compatible avec l'expérience sachant que Fizeau mesura un décalage de 0,23 franges, doublant l'effet en inversant le sens du courant.

Exercice 2 : interférence à 3 ondes

Une source ponctuelle monochromatique est placée au foyer objet d'une lentille L_1. Elle éclaire un dispositif de trois trous T_1, T_2 et T_3, régulièrement répartis le long d'un axe, deux trous successifs étant distants de a. On observe sur un écran placé dans le plan focal image d'une lentille L_2 de distance focale f'_2.



1- Exprimer l'éclairement I (x,y) en un point M de l'écran de coordonnées (x,y).

2- Tracer I (x,0) en fonction de x et superposer le graphe que l'on obtiendrait avec uniquement 2 trous distants de a. Comparer les deux graphes et commenter.

Exercice 3 : Etude rapide du dispositif des miroirs de Fresnel

Préliminaire : un résultat important sur les miroirs plans.

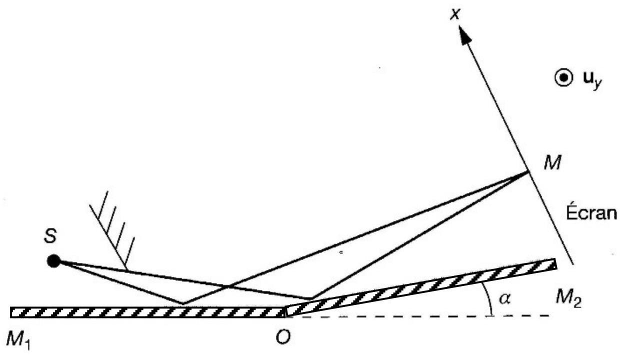
Tracer le rayon réfléchi sur un miroir plan à partir d'un rayon incident quelconque. On conserve le même rayon incident et on fait tourner le miroir d'un angle α sans modifier le plan d'incidence. Montrer que le rayon réfléchi tourne d'un angle 2α dans le même sens que le miroir.

Miroirs de Fresnel.

Schématiser la position des sources secondaires, du champ d'interférence et de la frange d'ordre 0, puis exprimer l'interfrange du système de franges observées sur l'écran :

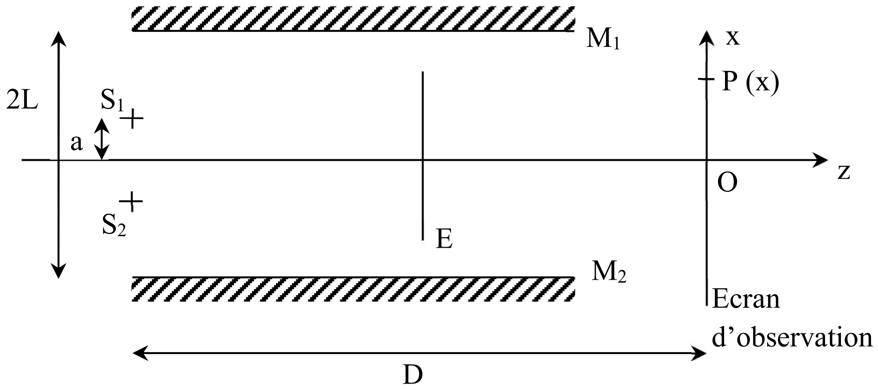
Dispositif des miroirs de Fresnel :

- Distance de S à O : d ;
- Distance de l'écran à O : D
- Angle entre les miroirs : $\alpha << 1$
- Angle entre M_1 et (SO) : β
- Angle entre l'écran et la normale à M_1 : $\alpha + \beta$



Exercice 4 : interférence avec deux miroirs parallèles

On considère le montage représenté ci-dessous : M_1 et M_2 sont deux miroirs plans distants de 2L, S et S' sont deux sources ponctuelles quasi-monochromatiques identiques, distantes de 2a. L'écran E opaque supprime la lumière directe et on observe l'éclairement obtenu sur un plan (P) d'observation situé à une distance D des sources. On supposera que D est très grand devant L (non respecté sur le schéma).



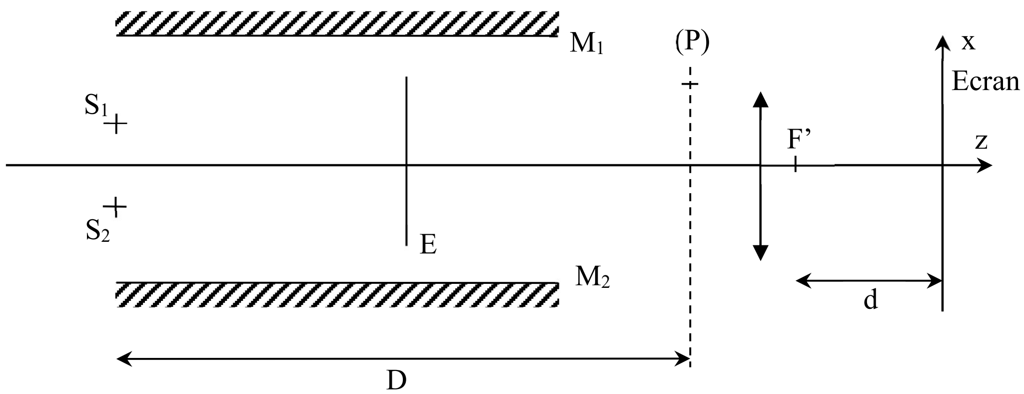
1- Les deux sources sont allumées ; montrer que l'éclairement sur l'écran peut s'écrire sous la forme : $E(x) = I_0\left(1 + V(a)\cos\dfrac{8\pi L x}{\lambda D}\right)$

où $V(a)$ est une fonction que l'on déterminera et dont on donnera la signification.

2- On éclaire maintenant le dispositif par une source étendue se présentant sous forme d'une surface Σ carrée, centrée sur (Oz) à la distance D du plan (P) et dont les côtés, de longueur $2a$, sont parallèles à (Ox) et (Oy). A quelle condition sur la taille de la source les interférences sont-elles visibles ?

3- Pour pouvoir mesurer plus facilement l'interfrange dans le plan (P), on ne place plus directement un écran au niveau de ce plan mais on réalise une projection du plan (P) à l'aide d'une lentille fortement convergente (f' = 4,0 mm) sur un écran situé à d = 16 cm du foyer image de la lentille.

Déterminer la valeur de l'interfrange mesurée sur l'écran dans cette nouvelle configuration. A quelle distance de (P) a-t-il fallu placer la lentille ?



Exercice 4 : Vélocimétrie laser

On dispose de deux faisceaux laser cohérents, faisant un angle 2α entre eux (figure 1) avec $\alpha \ll 1$. Une particule passe dans le faisceau avec une vitesse $\vec{v}$. Elle diffuse une quantité de lumière proportionnelle à l'intensité lumineuse de l'endroit où elle se trouve (on suppose que cette diffusion st isotrope). On récupère à l'aide d'un capteur la lumière diffusée et on obtient numériquement sa transformée de Fourier (TF) en fonction de la fréquence sur la figure 2.

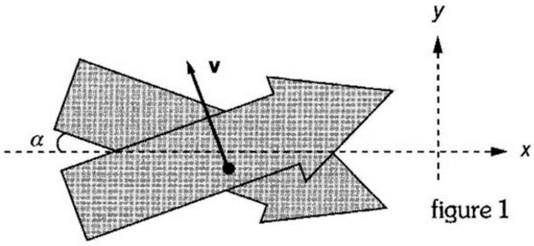


figure 1

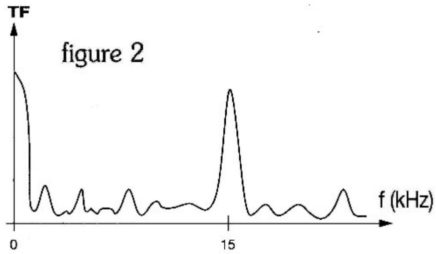


figure 2

Les deux faisceaux laser sont assimilables à des ondes planes dont les vecteurs d'onde respectifs sont contenus dans le plan (Oxy) et symétriques par rapport à (Ox). La vitesse de la particule est également contenue dans le plan (Oxy) et le milieu est un fluide homogène d'indice n très proche de l'unité.

1- Les deux faisceaux laser proviennent-ils forcément d'un même faisceau initial ? Proposer une méthode pour les obtenir.

2- Calculer l'intensité diffusée par la particule et expliquer l'allure obtenue pour la TF.

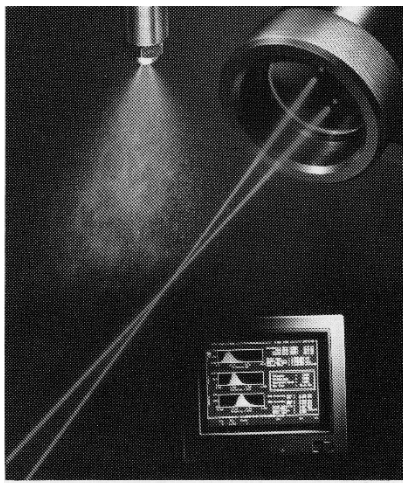
3- Quelle information peut-on obtenir sur la vitesse de la particule en exploitant le pic à 15 kHz ? Effectuer l'application numérique avec $\alpha = 7{,}00°$ et $\lambda = 600$ nm. Comment faire pour obtenir la valeur complète de la vitesse ?

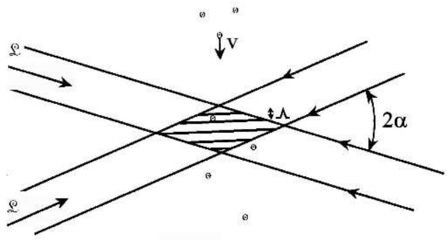
Ce dispositif sert en pratique à mesurer la vitesse d'un écoulement : la particule étudiée ci-dessus est injectée à dessein dans l'écoulement et est advectée (c'est-à-dire entraînée) à la vitesse du fluide en mouvement. Compte tenu des hypothèses effectuées plus haut, le fluide étudié ici est un gaz ($n \sim 1$) et l'écoulement est bidimensionnel dans le plan (Oxy).

On suppose les faisceaux laser assez fins pour que le champ des vitesses puisse être considéré uniforme dans la zone de recouvrement des deux lasers (voir photo ci-dessous).

4- La méthode vélocimétrie laser ainsi mise au point permet-elle de mesurer des écoulements variables ou est-elle limitée aux écoulements permanents ? Par ailleurs, que penser de la résolution spatiale de cette méthode ?

5- Pour détecter un signal diffusé le plus intense possible, on peut envisager de disperser un grand nombre de particules diffusantes dans tout le fluide. Sachant que ces particules diffusent la lumière de façon incohérente et que leurs positions initiales sont aléatoires, déterminer l'intensité diffusée. Quelle précaution faut-il prendre si l'on veut que la méthode soit efficiente ?





Extrait de Hydrodynamique Physique ; Guyon, Hulin, Petit ; Ed du CNRS.

Exercice supplémentaire

Réception de la radio sur un bateau.

Un bateau en mer à 10 km de la côte veut capter une émission radio FM de fréquence 100 MHz, par temps calme. Lorsque l'émetteur radio qui se trouve sur la côte émet à partir d'une antenne située en haut d'un immeuble, à 10 m au-dessus du niveau de la mer, le capitaine du bateau constate que la réception du signal est très mauvaise, où qu'il place son antenne réceptrice. En revanche, lorsque l'émetteur se trouve sur une colline à 700 m au-dessus du niveau de la mer, la réception est bien meilleure ; le capitaine constate par ailleurs qu'il intérêt à placer son antenne en haut du mat plutôt qu'en bas du mat. Proposer une explication à ces observations.