TD n°18
Interférométrie par division du front d'onde

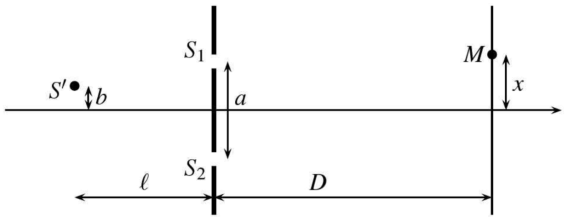
Exercice 1 : Expérience des trous d'Young ⋆ | ⚓

On réalise une expérience d'interférences avec deux trous d'Young dans l'air. On obtient un interfrange $i_0 = 2\,\text{mm}$.

1. Quelle est la nouvelle valeur de l'interfrange si le dispositif est plongé dans de l'eau d'indice $n_1 = 1{,}33$?
2. On revient dans l'air et on recouvre un des deux trous par une lame qui ne laisse passer que 50% de l'intensité lumineuse mais n'introduit aucune différence de marche notable. Comment est transformée la figure d'interférences ?

Exercice 2 : Méthode de Michelson et Pease ⋆⋆ | ⚓

Une source monochromatique S' de longueur d'onde λ éclaire un dispositif classique de trous d'Young. Les notations sont indiquées sur la figure ci-dessous. La source S' n'est pas sur l'axe des fentes, mais à une distance b de celui-ci.



On suppose que $|x| \ll D$, $a \ll D$, $a \ll \ell$ et $b \ll \ell$. Par souci de simplicité, l'indice des milieux traversés vaut 1.

1. En tenant compte des approximations, exprimer l'ordre d'interférences $p(M)$ au point $M(x)$ en fonction de x, a, b, D et ℓ.

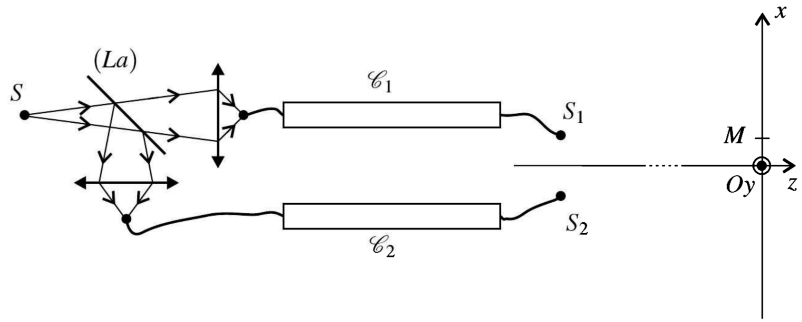
Une seconde source S'', identique à la première, est placée symétriquement à S' par rapport à l'axe du dispositif. Les sources S' et S'' sont supposées incohérentes. Un dispositif adapté permet de faire varier a, les paramètres λ et $\varepsilon = \dfrac{2b}{\ell}$ restant constants.

2. Déterminer les valeurs de a qui correspondent à une annulation de la visibilité des franges d'interférences au point M.
3. Les deux sources sont les deux composantes d'une étoile double. Dans le cas de Capella, pour $\lambda = 635\,\text{nm}$, la plus petite valeur de a annulant le contraste des franges est $a_0 = 116{,}5\,\text{cm}$. En déduire la valeur de ε.

Lycée Jean Bart Physique-Chimie MP 2025 – 2026

Exercice 3 : Détecteur interférométrique de concentration ⋆⋆ |

Le faisceau émis par une source monochromatique de longueur d'onde $\lambda_0 = 590\,\text{nm}$ 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 $\mathcal{C}_1$ et $\mathcal{C}_2$ identiques et sortent des fibres aux points S_1 et S_2 tels que $S_1S_2 = a$.



Un écran d'observation est placé parallèlement à l'axe (S_1S_2) à une distance $D \gg a$ de celui-ci. On règle le dispositif de sorte à ce que les chemins optiques (SS_1) et (SS_2) soient rigoureusement identiques lorsque les cuves sont vides.

1. Les cuves sont remplies d'air dans les conditions standard de température et de pression. L'indice de l'air est noté n_1 dans ces conditions, également réalisées à l'extérieur des cuves. Donner l'expression de l'intensité $I(x)$ observée sur l'écran au voisinage du point O en fonction de sa valeur moyenne I_m, de x et d'une interfrange i que l'on exprimera.

Dans la cuve $\mathcal{C}_2$, on remplace progressivement l'air par du monoxyde de carbone CO d'indice optique n_2. On constate que les franges se déplacent vers le haut.

2. Quel est le signe de $n_2 - n_1$?
3. Soit n l'indice du mélange en cours de remplissage. Donner l'expression de l'intensité $I(x)$ pendant le remplissage en fonction de I_m, i, x, n_1, n et de la longueur intérieure des cuves L.
4. On note que 70 ± 1 franges passent en O au cours de l'expérience. Sachant que $L = 1{,}00\,\text{m}$ et $n_1 = 1{,}000\,292\,6$, calculer n_2 et évaluer l'incertitude associée.

Les deux cuves étant à nouveau remplies d'air, on introduit dans $\mathcal{C}_2$ une petite quantité de CO. On admet que la variation d'indice est proportionnelle à la fraction molaire f du monoxyde de carbone dans la cuve. L'indice du mélange est donc : $n = n_1 + (n_2 - n_1)f$.

5. Calculer la plus petite fraction molaire f_{min} de CO détectable dans l'hypothèse où le plus petit déplacement décelable des franges vaut $i/10$.

Exercice 4 : Application des réseaux ⋆ |

Un réseau de pas a est éclairé en incidence normale par un faisceau parallèle provenant d'une lampe au mercure. On isole tout d'abord la raie verte de longueur d'onde $\lambda_0 = 546\,\text{nm}$. On mesure, pour les différentes valeurs d'ordre d'interférence, les angles θ correspondants. Ces résultats sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

Ordre	Angle	Ordre	Angle
$k=-1$	$-17{,}24°$	$k=1$	$17{,}22°$
$k=-2$	$-36{,}40°$	$k=2$	$36{,}41°$
$k=-3$	$-63{,}40°$	$k=3$	$63{,}37°$

1. Ces mesures permettent-elles de vérifier que le réseau est éclairé en incidence normale ? Calculer le pas a du réseau puis le nombre de traits au millimètre.
2. On éclaire maintenant le réseau avec une raie bleue assez intense du spectre du mercure, de longueur d'onde λ_1 inconnue. Pour cette raie, on obtient $\theta = 32{,}31°$ pour $k = 2$ et $\theta = -32{,}34°$ pour $k = -2$. Calculer λ_1.

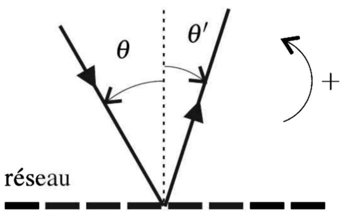
Exercice 5 : Choix d'un réseau ⋆⋆ |

1. On éclaire un réseau ayant 500 traits par millimètre par un faisceau parallèle d'incidence normale ($\theta_0 = 0$) et de longueur d'onde $\lambda_0 = 600\,\text{nm}$. Combien de pics de diffraction peut-on observer au maximum ?
2. Un réseau optique doit être tel que, pour toute longueur d'onde visible :
   - au moins un ordre de diffraction non nul soit observable en incidence normale ;
   - l'angle entre les directions des lumières diffractées dans deux ordres consécutifs soit au moins égal à 0,1 rad.

   Comment choisir le pas a du réseau ?

Exercice 6 : Réseau en réflexion ⋆⋆ |

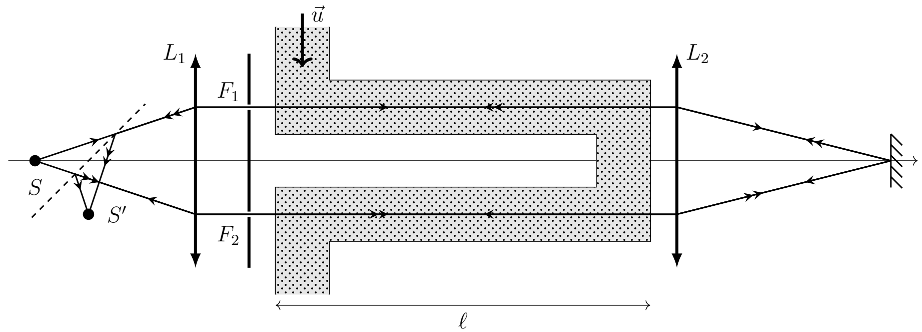
Dans un réseau plan par réflexion, les fentes transparentes sont remplacées par des bandes rectangulaires réfléchissantes séparées par des traits opaques non réfléchissants. Un faisceaux parallèle, monochromatique de longueur d'onde λ_0 arrive sur ce réseau avec un angle d'incidence algébrique θ_0.



1. Établir la relation entre les angles θ_0 et θ, faisant intervenir un entier relatif quelconque k, repérant les directions dans lesquelles on trouve de la lumière réflechie.
2. On envoie, sous incidence $\theta_0 = 30°$, un faisceau parallèle de lumière blanche. Déterminer la(les) longueur(s) d'onde qui est(sont) réflechie(s) dans la direction du faisceau incident sachant que le réseau comporte 1000 traits par millimètre.

Exercice 7 : Expérience de Fizeau ⋆⋆⋆ |

L'expérience de Fizeau, réalisée en 1851 est présentée ci-dessous. On a représenté le trou source S ainsi que la position S' du symétrique de S par une lame semi-réflechissante où on place un capteur lumineux. Les fentes d'Young sont notées F_1 et F_2.



Dans cette expérience, les rayons lumineux issus des fentes passent dans un tube coudé fermé par des fenêtres transparentes et qui contient un liquide d'indice n mis en mouvement par une pompe (non représentée) à la vitesse $u \ll c$ par rapport au laboratoire. Les rayons lumineux sont de longueur d'onde λ dans le vide et on note ℓ la longueur de chaque portion de tube traversée. On remarquera que les rayons marqués par une unique flèche se propagent, dans chaque portion de tube, dans le même sens que le fluide tandis que les rayons marqués d'une double flèche se propagent en sens inverse.
Lorsque le fluide est au repos, le centre de la figure d'interférence coïncide avec le point S', qui correspond donc à un ordre d'interférence nul.
On rappelle les formules vectorielles de composition des vitesses :

$$\vec{v}_a = \vec{v}_r + \vec{v}_e \qquad ; \qquad \vec{v}_a = \frac{\vec{v}_r + \vec{v}_e}{1 + (\vec{v}_r \cdot \vec{v}_e)/c^2}$$

dans le cas classique et dans le cas relativiste respectivement. Dans ces formules, $\vec{v}_a$ est la vitesse absolue (par rapport au laboratoire), $\vec{v}_r$ est la vitesse relative (par rapport au fluide) et $\vec{v}_e$ est la vitesse d'entraînement (du fluide par rapport au laboratoire).

1. Rappeler l'expression de la vitesse $\|\vec{v}_r\|$ de propagation de la lumière par rapport au fluide. Exprimer alors, en fonction de u, c et n, les vitesses de propagation $\|\vec{v}_1\|$ et $\|\vec{v}_2\|$ de la lumière par rapport au laboratoire pour chacun des rayons dans le cas classique.
2. En déduire la différence de marche δ_c entre les deux rayons au point S' dans le cas de la composition classique des vitesses puis l'ordre d'interférence p_c correspondant.
3. Déterminer, de même, la différence de marche δ_r et l'ordre d'interférence p_r dans le cas relativiste.
4. Exprimer le rapport p_r/p_c et faire l'application numérique. On prendra $n = 1{,}33$.