Colle n° 12 : Thermo 4 - Optique 2

Exercice 1 - Lampe à incandescence : On considère une lampe à incandescence constituée d'une ampoule sphérique de faible épaisseur de rayon $R = 2.5\,\mathrm{cm}$ et d'un filament en tungstène de surface $S_f = 2 \times 10^{-5}\,\mathrm{m}^2$. En dehors du filament, l'ampoule est vide. On note P la puissance rayonnée par le filament.

1. On fait l'hypothèse que le rayonnement du filament est celui d'un corps noir de température T. Calculer T pour une puissance rayonnée $P = 60\,\mathrm{W}$. Quelle est la valeur de la longueur d'onde correspondant à l'émission maximale ? Expliquer pourquoi le verre de l'ampoule absorbe une partie (faible) de ce rayonnement ?
2. Le milieu ambiant est supposé en équilibre radiatif et thermique à la température T_a, il émet donc un rayonnement de corps noir. Le verre de l'ampoule absorbe une partie du rayonnement émis par le filament soit la puissance αP. D'autre part, le verre de l'ampoule se comporte comme un corps noir par le rayonnement ambiant et pour le rayonnement qu'il émet lui même. On suppose un échange conducto-convectif de coefficient $h = 5\,\mathrm{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}}$ avec le milieu extérieur. Écrire l'équation traduisant l'équilibre thermique de la lampe de température stationnaire T_v.
3. Calculer numériquement cette température en prenant $T_a = 293\,\mathrm{K}$ et $\alpha = 0.05$.

Exercice 2 - Cube dans un four : On place à l'intérieur d'un four un cube de côté a, de capacité thermique massique c et de masse m. Le four est maintenu à la température T_1. Le solide est initialement à la température T_0. Le four et le solide sont assimilés à des corps noirs. On suppose que la température est uniforme à l'intérieur du parallélépipède et que $T_0 - T_1 \ll T_1$.

1. Quelle est la condition sur les températures pour ne tenir compte que des transferts thermiques radiatifs ?
2. Déterminer l'évolution temporelle de la température T du parallélépipède.

Exercice 3 - Détermination du pas d'un réseau, mesure d'une longueur d'onde : Un réseau de pas a est un ensemble de fentes séparées de la distance a. Il est éclairé par un faisceau parallèle provenant d'une lampe au mercure. Une onde plane est incidente sur le dispositif comme représenté sur la figure ci-dessous. En arrivant sur une fente, les rayons sont diffractés dans toutes les directions. On observe l'image à l'infini, soit dans le plan focal image d'une lentille convergente. Ainsi, on ne considère que les rayons parallèles entre eux en sortie du dispositif

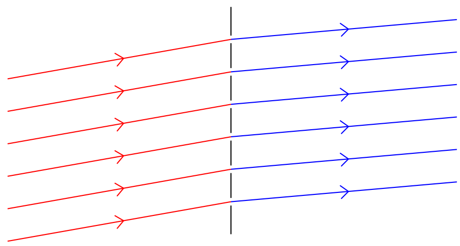


Figure 1 – Incidence d'une onde plane sur un réseau de fentes.

1. En notant i l'angle d'incidence et θ l'angle d'observation des rayons, montrer que la différence de marche entre deux rayons vaut $\delta = a(\sin\theta - \sin i)$. Ces angles sont évidemment définis par rapport à la normale au réseau.
2. En déduire la condition d'interférence constructive.

On isole tout d'abord la raie verte de longueur d'onde $\lambda_0 = 0.5461\,\mathrm{\mu m}$. Le réseau est placé perpendiculairement au faisceau incident et l'on pointe, pour les différentes valeurs de l'ordre k du spectre, les faisceaux diffractés. On mesure la valeur centrale de l'angle. On rappelle que chaque degré est divisé en 60 minutes d'arc, notées '.

Ordre	1	2	3
θ	1723'	3640	6339'

3. Ces mesures permettent-elles de vérifier que le réseau est bien perpendiculaire au faisceau incident ?
4. Calculer le pas du réseau puis le nombre de traits par millimètre.
5. On éclaire maintenant le réseau avec une certaine raie bleue assez intense du spectre du mercure, de longueur d'onde inconnue λ_1. Pour cette raie, dans le spectre du second ordre, on mesure $\theta_1 = 3232'$. Calculer λ_1.
6. La mesure de l'angle est précise à deux minutes d'arc près. Pour chaque ordre, en déduire sur λ_1, en réalisant une simulation Monte Carlo.

Exercice 4 - Mesure de l'indice optique de l'air : Un laser de longueur d'onde $\lambda = 532\,\mathrm{nm}$ placé en S éclaire une lame séparatrice (SR) qui sépare le faisceau en deux de même intensité I_0 (figure 2). Un des faisceaux suit le trajet (1), il est transmis par la lame et va directement au détecteur (D) en étant transmis par la seconde lame séparatrice. Le deuxième faisceau suit le trajet (2), il est réfléchi par la lame puis est guidé par deux miroirs plans (M) avant d'être réfléchi par une autre lame séparatrice et arrive au détecteur (D). Sur les trajets (1) et (2) sont placées deux cuves C_1 et C_2, de longueur $\ell = 20.00\,\text{cm}$. L'expérience est réalisée dans l'air d'indice optique n_{air}.

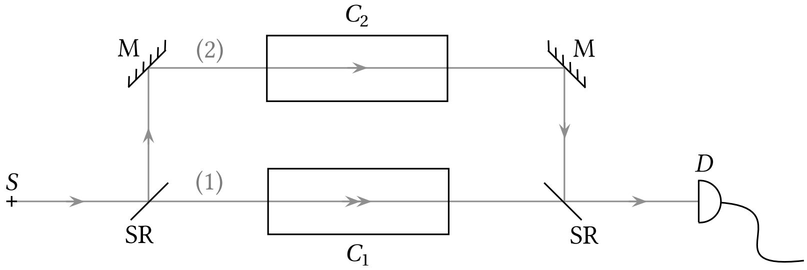


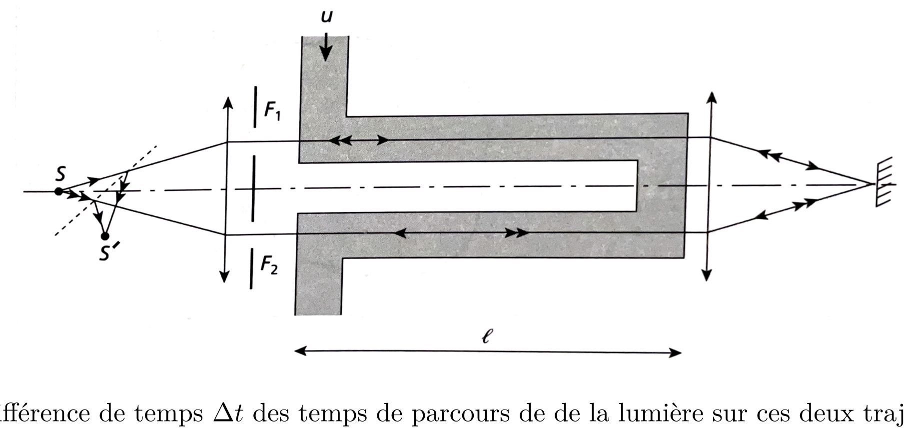
FIGURE 2 – Dispositif de mesure d'indice. M : miroir plan. SR : lame séparatrice.

Les cuves sont initialement remplies d'air à la pression atmosphérique.

1. On constate que l'intensité mesurée par le détecteur est maximale. Que peut-on dire des chemins optiques $(SD)_{1,\text{air}}$ et $(SD)_{2,\text{air}}$ correspondant respectivement aux trajets (1) et (2) ?
2. En déduire la valeur modulo λ de la différence de marche $\delta_{D,\text{air}} = (SD)_{2,\text{air}} - (SD)_{1,\text{air}}$ entre les deux trajets lorsque les deux cuves sont remplies d'air.
   On utilise une pompe pour faire le vide dans la cuve C_1. La cuve C_2 reste remplie d'air.
3. Exprimer la variation de chemin optique $(SD)_{1,0} - (SD)_{1,\text{air}}$ sur le chemin (1) dû à mise sous vide de C_1. L'indice « 0 » indique que la cuve C_1 est vide et l'indice « air » que la cuve C_1 est remplie d'air.
4. En déduire l'expression de la différence de marche $\delta_{D,0} = (SD)_{2,\text{air}} - (SD)_{1,0}$ en fonction de $\delta_{D,\text{air}}$, ℓ et n_{air}.
   Lorsque la cuve C_1 est considérée comme vide, le détecteur a enregistré le défilement de $N = 102$ maxima d'intensité durant la phase de pompage et détecte une intensité nulle à la fin.
5. En déduire une estimation de l'indice optique de l'air.

Exercice 5 - Expérience de Fizeau : La figure ci-dessous représente le schéma de l'expérience de Fizeau réalisée en 1851 (soit 54 ans avant l'avènement de la relativité restreinte). Son premier but était de démontrer l'existence de « l'éther », support matériel hypothétique de la lumière dans les théories du $19^{\text{ème}}$ siècle.

S' est l'image de S et les fentes F_1 et F_2 sont finalement des trous d'Young. Soit ℓ la longueur de chaque portion de tube traversée ; ce tube coudé, fermé par des fenêtres transparentes, contient de l'eau d'indice $n = 1.3$ qu'une pompe permet d'animer d'une vitesse $u \ll c$ par rapport au laboratoire (c la vitesse de la lumière). On considère le référentiel du laboratoire comme galiléen. Par rapport au liquide, la lumière se propage à la vitesse c/n. On remarquera, sur la figure, que le rayon marqué d'une flèche se propage, dans chaque portion du tube, dans le même sens que le liquide, alors que celui marqué de deux flèches se propage en sens inverse.



1. Calculer la différence de temps Δt des temps de parcours de de la lumière sur ces deux trajets entre S et S' en adoptant la loi classique d'addition des vitesses $v_2 = v_1 + v_{\text{e}}$ avec v_{e} la vitesse d'entraînement du fluide.
2. En déduire la différence de marche correspondante.
3. Expérimentalement, pour $\ell = 1.5\,\text{m}$, $u = 7\,\text{m/s}$ et $\lambda = 540\,\text{nm}$, Fizeau a mesuré un déplacement de 0.23 ± 0.05 interfranges entre le fluide au repos et le fluide en mouvement. Conclure.
4. Un des premiers résultats de la théorie restreinte a été d'expliquer le résultat de cette expérience. Cette théorie prévoie que la composition des vitesses vaut $v_2 = \dfrac{v_1 + v_{\text{e}}}{1 + v_1 v_{\text{e}}/c^2}$. Refaire le raisonnement précédent et conclure.