Colle n° 12 : Thermo 4 - Optique 2

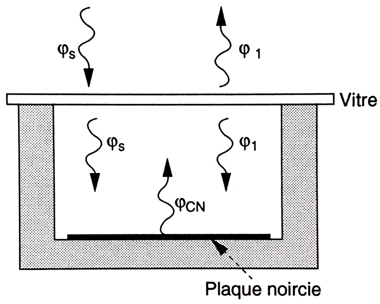
Exercice 1 - Ailette de refroidissement : On considère l'atelier d'un souffleur de verre, disposant d'un four à la température T_f, dans lequel il introduit l'extrémité d'une perche en fonte, considérée pleine, de rayon $a = 1.0\,\mathrm{cm}$ et de longueur $L = 2.0\,\mathrm{m}$. Le reste de la perche baigne dans une atmosphère à la température T_a.

1. Établir l'équation différentielle qui modélise le transfert de chaleur dans la perche en régime stationnaire au contact de l'atmosphère.
2. Estimer à quelle distance on peut empoigner la perche sans risquer de se brûler. On considérera un four qui fonctionne à 1150 °C en régime établi, une perche de conductivité thermique $\lambda_{\text{fonte}} = 55\,\mathrm{W/(m \cdot K)}$, et une atmosphère à 30 °C qui présente au contact de la perche un coefficient de Newton $h = 10\,\mathrm{W/(m^2 \cdot K)}$.

Exercice 2 - Équilibre thermique par rayonnement : Une sphère de rayon r très faible est assimilable à un corps noir. Elle est placée entre deux plaques opaques P_1 et P_2 à la température T_1. Elle baigne dans un fluide transparent. Elle est pleine et homogène, de chaleur massique C et de masse volumique μ. Elle est supposée à chaque instant à la température $T(t)$ uniforme. Le fluide ambiant étant à l'équilibre, les échanges conducto-convectifs sont supposés négligeables. La température initiale de la sphère est notée T_0.

1. Déterminer l'équation différentielle vérifiée par T.
2. On suppose que T reste voisine de T_1 à chaque instant, en lui restant supérieure. Montrer alors que l'équation différentielle peut être remplacée par une équation différentielle du premier ordre à coefficients constants.
3. Déterminer $T(t)$ et tracer son graphe.

Exercice 3 - Effet de serre : On étudie l'effet de serre produit par l'interposition d'une vitre au-dessus d'une plaque qui reçoit le rayonnement solaire. La plaque est noircie et assimilée à un corps noir. Le verre est supposé totalement transparent au rayonnement solaire. La vitre est en revanche totalement absorbante pour le rayonnement infra-rouge émis par la plaque qui absorbe le rayonnement solaire. On désigne par φ_s le flux solaire surfacique supposé arriver normalement à la vitre et à la plaque.

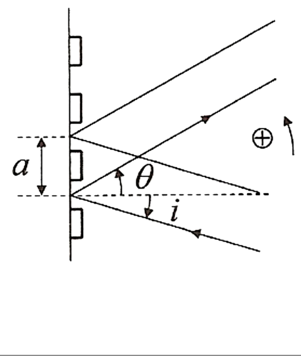


1. On suppose l'équilibre radiatif de la plaque et de la vitre. Écrire les équations exprimant ces équilibres et en déduire la température T de la plaque. Faire l'application numérique de T avec $\varphi_s = 0.6\,\mathrm{kW \cdot m^{-2}}$. En déduire la valeur de la température T_1 de la vitre.
2. Reprendre la question précédente dans le cas de deux vitres. En déduire la température du sol.
3. Reprendre la question dans le cas de n vitres et montrer que $\sigma T^4 = (n+1)\varphi_s$.

En réalité, en tenant compte de la réflexion et de l'absorption du verre, la température maximale est atteinte pour un nombre fini de plaques, généralement 4 ou 5.

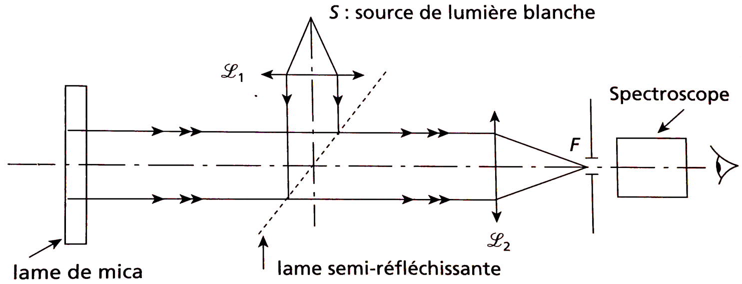
Exercice 4 - Surface d'un disque CD : La structure mécanique d'un CD permet de l'assimiler à un réseau par réflexion et explique son aptitude à décomposer la lumière blanche. Suivant un rayon du disque, le pas du réseau est a et l'on note i l'angle d'incidence et θ l'angle de réflexion ; le sens positif des angles est indiqué sur la figure. La lumière est réfléchie dans les sillons uniquement. L'angle de réflexion n'est pas nécessairement égal à l'angle d'incidence. En effet, les sillons étant petits, un phénomène de diffraction apparaît et l'angle θ est donc quelconque.

1. Montrer que la condition d'interférence constructive est, en notant k l'ordre de la diffraction
$$\sin\theta + \sin i = \frac{k\lambda}{a}$$
et la commenter. Attention, i est négatif sur le schéma.
2. On donne $a = 1.6\,\mathrm{\mu m}$ et $i = -10°$. Calculer, pour l'ordre $k = 1$, les deux valeurs extrêmes $\theta_{\min}$ et $\theta_{\max}$ correspondants aux longueurs d'ondes extrêmes du spectre visible.



3. Le faisceau de lumière blanche, parallèle et suffisamment large, pour éclairer complètement un rayon du disque, est toujours placé tel que $i = -10°$. La largeur de la partie enregistrée d'un CD est $\ell = 33\,\text{mm}$. À quelle distance minimale D_m faut-il approcher son œil pour commencer à voir l'ensemble du spectre visible ?

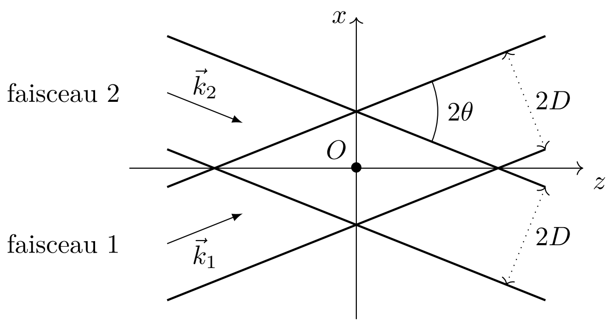
Exercice 5 - Lame mince et spectre cannelé : Le montage suivant permet d'obtenir des interférences à deux ondes aboutissant, en lumière blanche, à la formation d'un spectre cannelé (spectre traversé de bandes sombres manifestant l'absence de certaines longueurs d'onde dans le spectre).



F est la fente d'un spectroscope fournissant à l'observateur un spectre de la lumière éclairant F. Dans ce montage, les interférences se produisent entre les rayons qui, sous incidence normale, se réfléchisse d'une part sur la face avant de la lame de mica, d'autre part sur la face arrière de cette même lame. On désignera par n l'indice de cette lame ($n = 1.57$) et on notera e son épaisseur.

1. Expliquer l'origine des bandes sombres dans le spectre. Comment calculer les longueurs d'onde correspondantes ?
2. Entre $\lambda_1 = 0.47\,\mu\text{m}$ et $\lambda_2 = 0.63\,\mu\text{m}$, on observe $N = 40$ bandes sombres dans le spectre (extrémités λ_1 et λ_2 comprises). En déduire l'épaisseur de la lame de mica.

Exercice 6 - Vélocimétrie laser : La mesure de la vitesse d'un fluide peut s'effectuer directement par voie optique sans perturbation de l'écoulement. La recombinaison de deux faisceau 1 et 2 issus d'un même laser créé une figure d'interférences dans un petit domaine de l'espace centré sur le point de mesure. Chaque faisceau est une onde plane monochromatique de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 520\,\text{nm}$. Lorsqu'une particule solide de petites dimensions, entraînée par l'écoulement, traverse cette figure, elle rencontre des zones alternativement brillantes et sombres. Éclairée par cette figure d'interférences, elle réémet par diffusion une onde lumineuse reçue par un détecteur. La différence de marche est nulle au point O. L'indice du fluide vaut $n = 1.33$.



1. Calculer la largeur AB de la figure d'interférences en $z = 0$ sachant que $2D = 1.0\,\text{mm}$ et $\theta = 5°$.
2. Calculer l'ordre d'interférences en un point M de la figure d'interférences situé sur le plan $z = 0$. En déduire l'interfrange i et le nombre de franges brillantes contenues dans le champ en $z = 0$.
3. Une particule se déplace à la vitesse $\vec{v} = v\vec{e}_x$. Calculer la vitesse de fluide sachant que la période du signal reçu par le détecteur vaut $50\,\text{ms}$.