

Devoir de contrôle de Physique 2

Durée : 2H

EXERCICE 1

On donne la constante de Stefan $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$.

On considère un cylindre creux de conductivité thermique λ , de masse volumique ρ , de capacité thermique massique c , de rayon intérieur $r_1 = 5 \text{ mm}$, de rayon extérieur $r_2 = 6 \text{ mm}$, de longueur $L = 1 \text{ m}$, les températures des faces internes et externes étant respectivement T_1 et $T_2 < T_1$ (figure 1). On suppose que la température T ne dépend que de la variable radiale r .

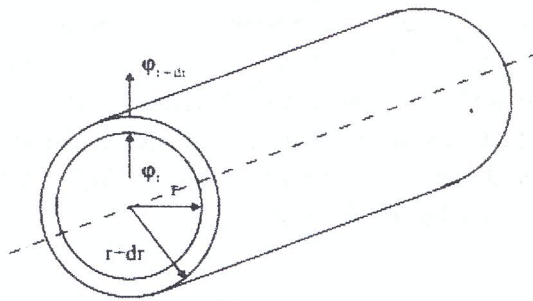


Figure 1

Q1- Énoncer la loi de Fourier en précisant les unités des différents termes ainsi que le sens du signe '-'.

Q2- Effectuer un bilan énergétique pour un volume élémentaire de matériau compris entre les rayons r et $r + dr$ entre les instants t et $t + dt$ en supposant qu'il n'existe pas d'apport énergétique autre que par conduction et qu'il n'y a pas production d'énergie interne. Montrer alors que l'équation aux dérivées partielles vérifiée par $T(r, t)$ s'écrit :

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \frac{\partial T}{\partial r} \right] \quad (1)$$

On se place désormais (pour la suite des questions) en régime stationnaire.

Q3- Établir une propriété sur le flux radial de chaleur $\phi(r)$. En déduire la forme générale du champ des températures $T(r)$ entre les deux cylindres (si nécessaire, on introduira des constantes).

Q4- Définir la notion de résistance thermique R_{th} et déterminer son expression.

On considère le cas pratique d'un tube recouvert de couches de matériaux différents de conductivité thermique $\lambda_A = 390 \text{ USI}$ et $\lambda_B = 0,025 \text{ USI}$ où l'on ne connaît que les températures $T_{f1} = 70^\circ \text{C}$ et $T_{f2} = 15^\circ \text{C}$ des fluides en contact avec les faces interne et externe du cylindre ; $h_1 = 50 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ et $h_2 = 5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ sont les coefficients de transfert de chaleur convectifs entre les fluides et les faces internes et externes (figure 2).

Q5- Rappeler la loi de Newton. Déterminer l'expression des résistances thermiques de convection R_{cv1} et R_{cv2} associées aux interfaces avec les fluides 1 et 2 respectivement.

Q6- Donner le schéma électrique équivalent d'un cylindre creux multicouches.

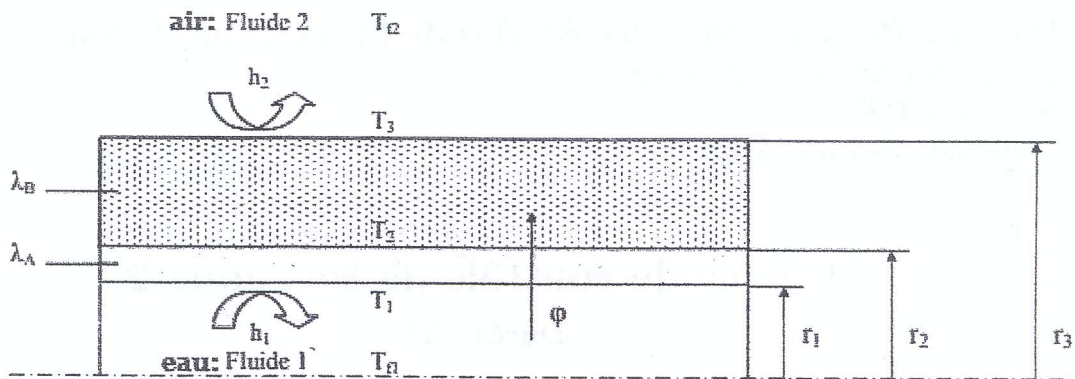


Figure 2

Dans le cas où le fluide en contact avec la surface est un gaz et où la convection est naturelle, le transfert de chaleur par rayonnement avec les parois entourant la surface n'est pas négligeable.

On suppose que la couche de polyuréthane (matériau B) et le fluide 2 (air) se comportent comme des corps noirs. Soit ϕ_r le flux échangé par rayonnement entre le matériau et l'air (sortant algébriquement du corps vers l'air) à travers la surface S .

Q7- Sachant que $|T_3 - T_{f2}| \ll T_3$, montrer que ϕ_r peut se mettre sous la forme :

$\phi_r = h_r S (T_3 - T_{f2})$, on exprimera h_r en fonction de T_{f2} et σ .

Q8- Exprimer puis calculer la résistance thermique de rayonnement R_r correspondante.

Q9- Donner le nouveau schéma électrique équivalent du système.

Q10- Calculer le flux thermique ϕ traversant le cylindre pour les situations des questions 6 et 9 sachant que $r_3 = 15 \text{ mm}$. Commenter.

EXERCICE 2

$$\text{On donne : } \sin(p) - \sin(q) = 2 \sin\left(\frac{p-q}{2}\right) \cos\left(\frac{p+q}{2}\right).$$

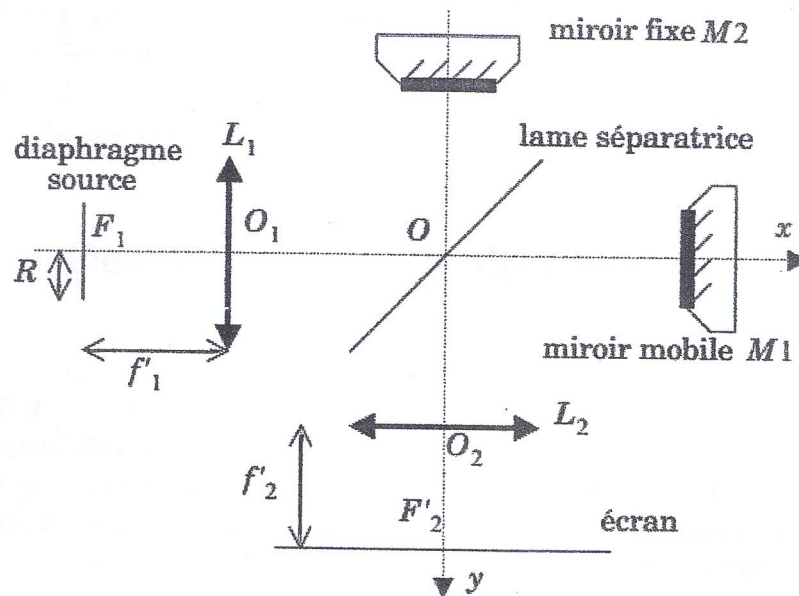
On considère un interféromètre de Michelson (figure 3) constitué de deux miroirs et d'une lame séparatrice idéale, c'est-à-dire infiniment mince n'introduisant aucun déphasage et de coefficient de réflexion énergétique vaut 0,5. Les miroirs (M1) fixe et (M2) mobile sont perpendiculaires. On pose $OM1 = l_0$ et $OM2 = l_0 + e$. L'interféromètre est éclairé par une source étendue, d'intensité I_0 réalisée à l'aide d'un diaphragme ayant la forme d'un disque de rayon $R = 1 \text{ cm}$ et d'axe $(x'x)$. Ce diaphragme intercepte une lumière monochromatique de longueur d'onde λ . Il est placé dans le plan focal objet d'une lentille mince convergente de focale $f'_1 = 10 \text{ cm}$. On observe la figure d'interférence sur un écran situé dans le plan focal image d'une lentille mince convergente de focale $f'_2 = 50 \text{ cm}$ et d'axe $(y'y)$. L'ensemble est placé dans l'air, dont l'indice est pris égal à 1.

Q1- Quelles conditions doivent satisfaire deux ondes lumineuses pour produire des interférences ? Comment réaliser expérimentalement ces conditions ?

Q2- Qu'est-ce qu'une onde monochromatique ? Donner deux exemples de dispositifs permettant, au laboratoire, de produire une onde quasi-monochromatique.

Q3- Tracer la marche des rayons lumineux issus d'un point S de la source et interférant en un point M de l'écran.

Q4- Sur le même schéma, montrer graphiquement que l'on peut considérer que ces deux rayons sont issus d'une « lame d'air » d'épaisseur e que l'on représentera. Déterminer alors la différence des chemins optiques δ en fonction de e et de l'inclinaison i faisant le rayon incident avec l'axe $(x'x)$.



Q5- Exprimer $I(r)$ l'intensité au point M sur l'écran en fonction de $r = F'_2M$. Décrire la figure d'interférences.

Q6- On mesure $e = 0,53 \text{ mm}$. On relève le rayon du 1^{ère} anneau sombre à partir du centre de la figure $r_1 = 1,5 \text{ cm}$ et celui du 9^{ème} anneau sombre $r_9 = 4,8 \text{ cm}$. Calculer λ .

Q7- Déterminer la taille de la zone d'interférences ainsi que le nombre des anneaux brillants qu'on doit observer théoriquement.

Q8- On translate progressivement le miroir en diminuant e . Prévoir en l'expliquant le sens de défilement des anneaux (rentre ou sortir du centre). Expliquer comment évolue le nombre d'anneaux observables sur l'écran.

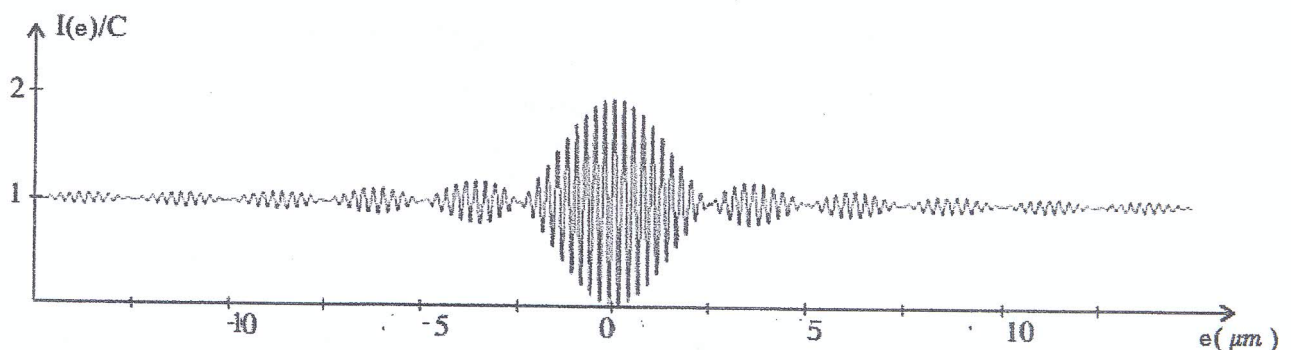
Q9- La source primaire n'est plus monochromatique. Elle est caractérisée par un profil spectral rectangulaire de largeur $\Delta\sigma$ dont l'intensité spectrale est notée $I_{sp}(\sigma)$.

$$I_{sp}(\sigma) = \begin{cases} \frac{I_0}{\Delta\sigma} & \text{si } \sigma_0 - \frac{\Delta\sigma}{2} \leq \sigma \leq \sigma_0 + \frac{\Delta\sigma}{2} \\ 0 & \text{si non} \end{cases} \quad (2)$$

$\sigma = \frac{1}{\lambda}$ désigne le nombre d'onde.

On s'intéresse à l'intensité que produirait l'interféromètre en F'_2 . Calculer explicitement $I(e)$, on exprimera le résultat sous la forme $I(e) = C[1 + V(e) \cos(4\pi\sigma_0 e)]$ où C est une constante et $V(e)$ le facteur de visibilité, grandeurs que l'on déterminera.

Q10- La figure ci-dessous donne le graphe de $I(e)$. Déterminer σ_0 , $\Delta\sigma$ et la longueur de cohérence ℓ_c en précisant la méthode utilisée.



Fin de l'épreuve