15 mai 2025

Série 12 : Transfert de chaleur

Exercice 1: L'oasis (*Niveau 1*)

Alors que vous traversez le désert à dos de chameau, une hallucination vous emporte : un marchand surgit de nulle part pour vous vendre du lait de coco frais. Les parois en polystyrène (de conductivité thermique $\lambda = 0.01\,\mathrm{Wm^{-1}K^{-1}}$) de la glacière du marchand ont une épaisseur de $2.0\,\mathrm{cm}$ et une surface totale de $0.8\,\mathrm{m}^2$ en incluant le couvercle. La glacière est remplie de glace, d'eau et de bouteilles de lait de noix de coco.

(a) Quel est le taux de conduction de la chaleur à travers les parois de la glacière, c'est-à-dire la quantité d'énergie thermique traversant les parois par seconde, si la température dans l'oasis est de $40\,^\circ\mathrm{C}$ (à l'ombre)?

(b) Quelle masse de glace fond en une journée (12 heures), sachant que la chaleur latente de fusion de la glace vaut $L_f = 333.6\,\mathrm{kJkg^{-1}}$?

Exercice 2: Fil chauffant (*Niveau 2*)

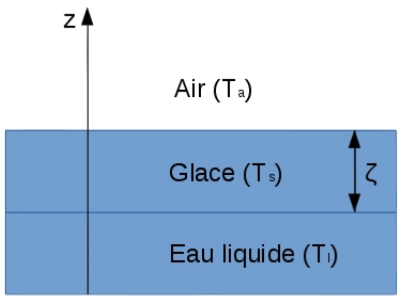
On considère un fil chauffant de rayon r_0 entouré de matériau isolant de conductivité thermique λ, formant un fil plus épais de diamètre r_1. La puissance dégagée par unité de longueur de fil est P_l. La température en r_0 est T_0 et la température extérieure est T_{ext}.

Le fil est un parfait conducteur thermique, donc il est à une température uniforme, et le gradient de température est uniquement dans la gaine isolante.

Quelle est la température à l'interface entre le fil et le matériau isolant?

Exercice 3: Patinage sur le lac de Joux (*Niveau 3*)

Le lac de Joux gèle fréquemment en hiver, pour le plus grand bonheur des patineurs. Nous allons nous intéresser ici au processus de formation de la glace sur le lac, qui se produit lorsque l'eau du lac est à la température de solidification $T_l = 0°\mathrm{C}$ et que la température de l'air T_a est inférieure à T_l. On négligera le transfert thermique convectif, c'est-à-dire que l'on considérera que les transferts de chaleur n'ont lieu que sous forme diffusive.



(a) Calculer l'augmentation dζ de l'épaisseur de glace pendant une durée infinitésimale dt. On notera L_f la chaleur latente de fusion de la glace, ρ_g sa masse volumique, ζ l'épaisseur de la glace et λ sa conductivité thermique.

(b) Intégrer l'expression de la question 1 pour obtenir l'évolution de l'épaisseur de glace au cours du temps.

(c) Il est généralement admis qu'il est possible de patiner sur le lac si la couche de glace fait au moins 8 cm d'épaisseur. Calculer la durée τ au bout de laquelle la couche de glace atteint 8 cm lorsque $T_a = -20°\text{C}$. On prendra $\rho_\text{g} = 900\,\text{kg}\,\text{m}^{-3}$, $L_f = 334\,\text{kJ}\,\text{kg}^{-1}$ et $\lambda = 2,1\,\text{W}\,\text{m}^{-1}\,\text{K}^{-1}$.

Exercice 4: Le pare brise (extrait examen 2020) (*Niveau 2*)

En hiver, Ivo veut prendre sa voiture pour aller à l'EPFL. La température de l'air externe est de 0°C et sur le pare-brise (surface : 1 m^2, épaisseur : 5 mm) une couche de glace d'épaisseur 1 mm s'est formée. La glace est en équilibre thermique avec l'air externe et la surface externe du pare-brise. Avant de démarrer, Ivo doit dégeler la glace et essaie différentes méthodes.

(a) Il met en fonctionnement le chauffage dans l'habitacle et augmente ainsi instantanément la température de la surface interne du pare-brise à 20°C, qui reste constante par la suite. Combien de temps faut-il attendre pour dégeler toute la glace et la transformer en eau à 0°C ?

(b) Il impose instantanément un flux d'air à température constante 30°C, parallèle à la surface interne du pare-brise. Quelle est la température de la surface interne du pare-brise ? Combien de temps faut-il attendre pour dégeler toute la glace et la transformer en eau à 0°C ?

(c) Il augmente instantanément la vitesse du flux d'air sans en changer la température. Justifiez de manière qualitative, si le temps est plus court ou plus long qu'à la question b).

Indications : Vous ferez les hypothèses suivantes : géométrie plane, effets de bord négligés, régime stationnaire : $\dfrac{\partial T}{\partial t} = 0$. Conductivité thermique du verre $\lambda = 0.73$ W/m/K. Coefficient de transfert thermique $air - verre$ $h = 65$ W/m^2/K (pour les conditions de la question b)). Masse volumique de la glace : $\rho_{glace} = 910$ kg/m^3. Chaleur latente de fusion de la glace : $L_f = 333$ kJ/kg.

Exercice 5: Température d'une étoile et d'une planète (*Niveau 2*)

Un simple calcul d'ordre de grandeur permet de calculer le rapport de température entre la surface d'une planète et d'une étoile. Soit T_s la température de l'étoile et R_s son rayon. L'étoile rayonne de manière isotrope dans tout l'espace.

(a) Calculer la puissance reçue par une planète de rayon R_p située à une distance $d \gg R_s$ et R_p. On suppose que l'émissivité de la planète et de l'étoile sont égales à 1.

(b) La température de la planète est T_p. Calculer la puissance rayonnée par la planète.

(c) En déduire une relation entre T_p, T_s, R_s et d.

(d) *Cas de la terre*: La température moyenne à la surface de la terre est de $T_p = 287K$, la température est aussi un peu affectée par l'effet de serre dû à la présence de l'atmosphère, $R_s = 7 \cdot 10^8 m$ et $d = 1.5 \cdot 10^{11} m$. Calculer T_s.