

Thermodynamique | Chapitre 3 | TD (03)

Exercice n°1 • Expériences de calorimétrie

cours

Dans tous l'exercice, note μ la valeur en eau du calorimètre et on néglige la capacité thermique des différents accessoires. On note c_{eau} la capacité thermique de l'eau liquide. On note T_f la température à la fin d'une expérience.

1) On place dans un calorimètre une masse m_1 d'eau liquide à la température T_1 . On ajoute une masse m_2 d'eau liquide à la température T_2 . Exprimer la valeur en eau du calorimètre.

2) On place dans un calorimètre une masse m_1 d'eau liquide à la température T_1 . On place dans l'eau une résistance R , parcouru par un courant I pendant Δt . Exprimer c_{eau} .

3) On place dans un calorimètre une masse m_1 d'eau liquide à la température T_1 . On place dans l'eau un solide de masse m_2 de capacité thermique massique c inconnue à la température T_2 . Exprimer c .

Exercice n°2 • Préparation d'un thé glacé

cours

On souhaite réaliser du thé glacé (assimilé à de l'eau), en mettant un volume $V_1 = 500$ mL de thé liquide (masse $m_1 = 500$ g) à $T_0 = 20$ °C dans un thermos avec N glaçons de masse $m_2 = 8,0$ g à $T_1 = -18$ °C.

Données :

- Température de fusion de l'eau : $T_{fus} = 0$ °C ;
- Enthalpie massique de fusion de l'eau à T_{fus} : $\Delta h_{fus} = 335$ kJ·kg⁻¹ ;
- Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_\ell = 4,18$ kJ·K⁻¹·kg⁻¹ ;
- Capacité thermique massique de l'eau solide : $c_s = 2,09$ kJ·K⁻¹·kg⁻¹ ;

1) Quels sont les différents états finaux possibles en fonction du nombre N de glaçons ajoutés et, pour chaque état, quel paramètre permet de caractériser l'état final?

2) Déterminer l'état final dans le cas où l'on ajoute $N = 4$ glaçons.

3) Déterminer l'état final dans le cas où l'on ajoute $N = 15$ glaçons.

Exercice n°3 • Marteau-pilon

☆☆☆

Un marteau-pilon de masse $m_P = 1,0 \cdot 10^5$ kg tombe d'une hauteur $h = 3,0$ m sur un objet en aluminium de masse $m_A = 50$ kg. La température du marteau ne varie

pratiquement pas alors que celle de l'objet varie de ΔT .

Données :

- masse molaire de l'aluminium : $M_{Al} = 27$ g·mol⁻¹
- capacité thermique molaire de l'aluminium : $C_m = 3R$
- champ de pesanteur : $g = 9,8$ m·s⁻²

Déterminer ΔT .

Exercice n°4 • Bouteille thermos

☆☆☆

Une bouteille thermos peut être considérée comme un calorimètre, c'est-à-dire un système de faible capacité thermique et pouvant pratiquement isoler thermiquement son contenu du milieu extérieur.

On place une masse $m = 580$ g d'eau dans la bouteille, on attend l'équilibre thermique et on mesure $T_1 = 20$ °C. On ajoute ensuite une autre masse $m = 580$ g d'eau à $T_2 = 80$ °C dans la bouteille, on attend à nouveau l'équilibre thermique et on mesure $T_{eq} = 49$ °C. Les manipulations sont réalisées suffisamment vite pour que les pertes thermiques soient négligeables.

1) Quelle aurait été la température $T_{eq,0}$ si la capacité thermique de la bouteille était nulle ?

2) Déterminer la valeur de la capacité thermique C_t de la bouteille thermos utilisée.

3) On peut lire sur la notice fournie par le constructeur du calorimètre que la masse équivalente en eau de la bouteille et de ses accessoires est $m_c = 40$ g. Commenter cette valeur numérique.

Si on attend plus longtemps on constate que la température $T(t)$ du contenu du calorimètre varie au cours du temps. On interprète cette variation par l'existence de pertes thermiques à travers la surface de la bouteille. Ces pertes sont modélisées par une puissance thermique perdue par la bouteille $\mathcal{P}_{th} = kS(T(t) - T_{ext})$ où k est une constante positive et où S désigne l'aire de la surface extérieure de la bouteille, au contact de la pièce de température $T_{ext} = 20$ °C.

On considérera pour simplifier que le système constitué par la bouteille et tout ce qu'elle contient est homogène, à la température $T(t)$, et on note C sa capacité thermique supposée constante.

4) Commenter le signe de $\mathcal{P}_{th}$ quand $T(t) > T_{ext}$.

5) Établir l'équation différentielle régissant l'évolution de $T(t)$. Faire apparaître un temps caractéristique τ .

6) Résoudre l'équation différentielle précédente sachant qu'à l'instant initial $T(0) = T_0 = 60$ °C. Tracer l'allure de la courbe représentative de l'évolution de $T(t)$.

7) On a mesuré une baisse de température $\Delta T = -1^\circ\text{C}$ en $\Delta t = 10$ min. Quelle est la valeur de τ ?

Exercice n°5 • Plaque à induction



Le foyer d'une plaque à induction possède une puissance maximale de 2300 W. Estimer le temps nécessaire pour porter à ébullition un litre d'eau à l'aide de cette plaque à induction.

Exercice n°6 • Transpiration



Quel volume d'eau devez-vous éliminer par transpiration pour débarrasser votre corps des 75 W de puissance thermique correspondant à votre métabolisme lorsque vous êtes au repos ?

On prendra la température de la peau égale à 33°C et l'enthalpie massique de vaporisation de l'eau à cette température égale à $2420\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Commenter, sachant qu'un être humain évacue en moyenne par transpiration environ 0,5 L d'eau par jour.

Le fait de s'essuyer avec une serviette aide-t-il au refroidissement du corps ?

Exercice n°7 • Eau glacée



Une enceinte calorifugée en contact avec l'atmosphère de pression $P_0 = 1$ bar contient la masse $m_1 = 100$ g d'eau liquide de température initiale $T_1 = 290$ K et de capacité thermique massique à pression constante $c_1 = 4,16\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

On y introduit la masse m_2 de glace de température initiale $T_2 = 260$ K, de capacité thermique massique à température constante $c_2 = 2,09\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

On note $T_0 = 273$ K la température de fusion de la glace à la pression atmosphérique et on donne l'enthalpie de fusion de la glace sous la pression atmosphérique $\ell_{fus} = 333\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

1) Déterminer les valeurs du paramètre $x = m_2/m_1$, notées x_s et x_ℓ pour lesquelles le système à l'équilibre est constitué respectivement de glace à 0°C et d'eau liquide à 0°C .

2) Préciser l'état du système pour $x \leq x_\ell$, pour $x \geq x_s$ et pour $x \in [x_\ell; x_s]$.

3) Calculer numériquement $m_{2,\ell}$ et $m_{2,s}$ puis estimer le nombre de glaçons correspondant pour un verre d'eau.

4) On prend $m_2 = 30$ g. Déterminer la composition du système dans l'état final.

Éléments de correction

① 1) $\mu = -\frac{m_1(T_f - T_1) + m_2(T_f - T_2)}{T_f - T_1}$. 2) $c_{eau} = \frac{RI^2\Delta t}{(\mu + m_1)(T_f - T_1)}$. 3) $c = -\frac{(\mu + m_1)c_{eau}(T_f - T_1)}{m_2(T_f - T_2)}$. ② 1) Liquide si $T_f > 0$, solide si $T_f < 0$, mélange solide/liquide si $T_f = T_{fus}$ et x_ℓ à déterminer. 2) $T_f = 13,4^\circ\text{C}$. 3) $x_\ell = 92,8\%$. ③ $\Delta T = \frac{m_P g h M_{Al}}{3 R m_A} = 64\text{ K}$. ④ 1) $T_{eq,0} = \frac{T_1 + T_2}{2} = 50^\circ\text{C}$. 2) $C_t = -\frac{m c_{eau}(2T_{eq} - T_1 - T_2)}{T_{eq} - T_1} = 167\text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$. 3) OK. 4) $\mathcal{P}_{th} > 0$. 5) $\frac{dT}{dt} + \frac{T}{\tau} = \frac{T_{ext}}{\tau}$ avec $\tau = \frac{C}{kS}$. 6) $T(t) = (T_0 - T_{ext})e^{-t/\tau} + T_{ext}$. 7) $\tau = -\frac{\Delta t}{\ln\left(1 + \frac{\Delta T}{T_0 - T_{ext}}\right)} =$

395 min. ⑤ Environ 2 min 30 s. ⑥ 2,7 L d'eau. ⑦ 1) $x_s = 14,9$ et $x_\ell = 0,197$. 2) Liquide $T > T_0$, solide $T < T_0$, mélange ℓ/s à T_0 . 3) $m_{2,\ell} = 19,7$ g et $m_{2,s} = 1,49$ kg. 4) 63 % des glaçons ont fondu.