Détermination expérimentale d'une résistance thermique

Bac S 2014 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Montrer que l'énergie thermique E_{th} transférée à travers la paroi de verre, due à la mise en route du générateur de vapeur, est de l'ordre de 40 kJ. Préciser le mode de transfert et l'interpréter au niveau microscopique.

Données utiles $L_f = 333{,}5\ \text{J} \cdot \text{g}^{-1}$; $m_1 = 5{,}5$ g (sans vapeur) ; $m_2 = 124{,}4$ g (avec vapeur) ; même durée Δt

Pour faire fondre une masse m de glace, il faut lui fournir l'énergie $E = m\,L_f$.

Première expérience : la glace reçoit $E_1 = m_1\,L_f$, apportée par le laboratoire seul.

Seconde expérience : la glace reçoit $E_2 = m_2\,L_f$, apportée par le laboratoire et par la vapeur à travers le verre.

L'énergie due au seul générateur de vapeur est la différence :

$$E_{th} = E_2 - E_1 = (m_2 - m_1)\,L_f = (124{,}4 - 5{,}5) \times 333{,}5 = 3{,}965 \times 10^4\ \text{J}$$

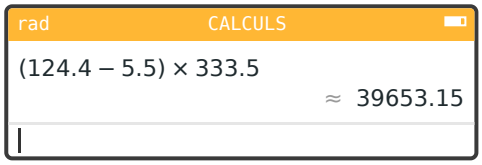
Le transfert à travers le verre se fait par **conduction**. Du côté de la vapeur, les entités du verre sont plus agitées ; cette agitation thermique se transmet de proche en proche vers la face froide, sans déplacement d'ensemble de la matière.

$E_{th} = 3{,}965 \times 10^4\ \text{J} = 39{,}65\ \text{kJ}$, bien de l'ordre de 40 kJ ; transfert par conduction.

PIÈGE
Calculer seulement $m_2\,L_f = 41{,}5$ kJ. Cette valeur contient aussi l'énergie venue de l'air du laboratoire : la première expérience sert de témoin et se retranche.

COMPRENDRE
L_f est en $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$: les masses restent en grammes. Quatre chiffres significatifs, comme L_f et la différence $118{,}9$ g.

À LA CALCULATRICE



2.1 Exprimer l'unité du flux thermique Φ en fonction du mètre, du kilogramme et de la seconde. Quelle unité utilise-t-on plus usuellement ?

$\Phi = \dfrac{E_{th}}{\Delta t}$: le flux est une énergie divisée par une durée, donc en $\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$.

Unité d'une énergie : d'après $E_c = \dfrac{1}{2}\,m\,v^2$, le joule est une masse multipliée par le carré d'une vitesse : $1\ \text{J} = 1\ \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$.

Donc Φ s'exprime en $\dfrac{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}}{\text{s}} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$.

Φ s'exprime en $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$, c'est-à-dire usuellement en **watt** (W) : le flux thermique est une puissance.

MÉTHODE
Pour décomposer une unité, partir d'une relation connue qui contient la grandeur : $E_c = \frac{1}{2}mv^2$, $E_{pp} = mgh$ ou $W = F\,d$ donnent toutes le même résultat pour le joule.

2.2 Calculer la valeur du flux thermique à travers la plaque de verre étudiée.

Données utiles $E_{th} = 3{,}965 \times 10^4$ J (Q1) ; $\Delta t = 5\ \text{min}\ 30\ \text{s}$

$\Delta t = 5 \times 60 + 30 = 330$ s.

$$\Phi = \frac{E_{th}}{\Delta t} = \frac{3{,}965 \times 10^4}{330} = 120\ \text{W}$$

$\Phi = 120\ \text{W}$

PIÈGE
Laisser la durée en minutes (5,5 min) ou écrire 5 min 30 s = 5,30 min. Le watt exige des joules et des secondes.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{3.965 \times 10^4}{330}$ ≈ 120.1515

3 Déterminer la résistance thermique R_{th} de la portion de verre comprise entre le bloc de glace et l'enceinte, à partir de $\Phi = \frac{\Delta\theta}{R_{th}}$.

Données utiles $\Phi = 120$ W (Q2.2)

Le sujet ne donne pas $\Delta\theta$: il faut l'estimer. La face supérieure du verre touche la glace fondante, à $0\ ^\circ\text{C}$; la face inférieure est au contact de la vapeur d'eau, à $100\ ^\circ\text{C}$ sous la pression atmosphérique. Donc $\Delta\theta = 100\ ^\circ\text{C}$, soit 100 K.

$$R_{th} = \frac{\Delta\theta}{\Phi} = \frac{100}{120} = 0{,}83\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}$$

$\boxed{R_{th} = 0{,}83\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}}$

COMPRENDRE
Un écart de température a la même valeur en °C et en K : inutile d'ajouter 273. Deux chiffres significatifs suffisent, les températures des faces n'étant qu'estimées ; la valeur s'accorde avec le tableau de la question 4.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{100}{120}$ ≈ 0.8333333

4.1 Écrire le résultat de la mesure expérimentale de R_{th} correspondant à un niveau de confiance de 95 %.

Données utiles 12 mesures du tableau ; $t_{95} = 2{,}20$; $U(R_{th}) = t_{95}\frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$

Avec le mode statistique de la calculatrice, pour les 12 valeurs du tableau :

moyenne $\overline{R_{th}} = 0{,}827\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}$; écart-type expérimental $\sigma_{n-1} = 4{,}87 \times 10^{-2}\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}$.

$$U(R_{th}) = t_{95}\frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} = 2{,}20 \times \frac{4{,}87\times10^{-2}}{\sqrt{12}} = 0{,}031\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}$$

L'incertitude est arrondie à un chiffre significatif, $U(R_{th}) = 0{,}03\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}$; la moyenne est arrondie au même rang, le centième.

$\boxed{R_{th} = (0{,}83 \pm 0{,}03)\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}\ \text{(niveau de confiance 95 \%)}}$

PIÈGE
Utiliser σ_n au lieu de σ_{n-1} (noté s_x ou σ_{n-1} selon la calculatrice), ou garder $0{,}827 \pm 0{,}03$: le dernier chiffre de la valeur doit être au rang de l'incertitude.

COMPRENDRE
Dans les notations actuelles, $\frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} = 0{,}014\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ est l'incertitude-type sur la moyenne ; le coefficient t_{95} l'élargit pour atteindre le niveau de confiance de 95 %.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{0.81+0.89+0.78+0.82+0.87+0.78+0.76+0.92+0.85+0.84+0.81+0.79}{12}$ ≈ 0.8266667

$\frac{2.20 \times 4.87 \times 10^{-2}}{\sqrt{12}}$ ≈ 0.03092865

4.2 Rédiger une phrase de conclusion traduisant la signification du résultat de la mesure de R_{th}.

Données utiles $R_{th} = (0{,}83 \pm 0{,}03)\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ (Q4.1)

$0{,}83 - 0{,}03 = 0{,}80$ et $0{,}83 + 0{,}03 = 0{,}86$.

La valeur vraie de la résistance thermique de cette portion de verre a 95 % de chances d'être comprise entre $0{,}80\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ et $0{,}86\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.

COMPRENDRE
Cet intervalle ne traduit que la dispersion des 12 mesures. Une erreur commune à toutes, comme une mauvaise estimation de $\Delta\theta$, décale toutes les valeurs dans le même sens et n'y apparaît pas.

5 Déterminer la résistance thermique surfacique R du verre utilisé. Le constructeur indique une valeur plus élevée : proposer une interprétation.

Données utiles $R_{th} = 0{,}83\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ (Q4.1) ; diamètre du bloc de glace : 8 cm au départ, 7,6 cm à la fin de la seconde expérience

Plus la surface traversée est grande, plus le flux est grand et plus R_{th} est petite : $R_{th} = \dfrac{R}{S}$, donc $R = R_{th} \times S$, en $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. R est la résistance thermique d'une paroi de $1\ \text{m}^2$.

La surface d'échange est le disque de contact entre la glace et le verre. Son diamètre passe de 8 cm à 7,6 cm pendant la seconde expérience : on prend la valeur moyenne $d = 7{,}8\ \text{cm} = 7{,}8 \times 10^{-2}$ m.

$$S = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \times \left(\frac{7{,}8 \times 10^{-2}}{2}\right)^2 = 4{,}8 \times 10^{-3}\ \text{m}^2$$

$$R = R_{th} \times S = 0{,}83 \times 4{,}8 \times 10^{-3} = 4{,}0 \times 10^{-3}\ \text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Interprétation de l'écart avec le constructeur : la valeur expérimentale est sous-estimée.

- La surface réellement traversée est mal connue : le disque de contact rétrécit pendant la fusion et la chaleur se propage aussi dans le verre autour du bloc.
- Le flux est surestimé : quand le générateur fonctionne, l'enceinte chaude réchauffe l'air autour du bloc, qui fait fondre plus de glace que dans l'expérience témoin.

$R = R_{th} \times S \approx 4{,}0 \times 10^{-3}\ \text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

PIÈGE
Diviser R_{th} par S à cause de l'expression « par unité de surface » : l'unité $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ montre qu'il faut multiplier. Prendre aussi le disque de glace, pas la plaque carrée de 12 cm.

COMPRENDRE
Selon le diamètre retenu (7,6 cm, 7,7 cm ou 8 cm), on trouve entre $3{,}8 \times 10^{-3}$ et $4{,}2 \times 10^{-3}\ \text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$: toute valeur justifiée dans cet intervalle convient.

À LA CALCULATRICE

