

TD – Échanges d'énergie, le 1^{er} principe

Remarque : exercice avec \star : exercice particulièrement important, à maîtriser en priorité (de même que les exemples de questions de cours des “ce qu'il faut savoir faire”) | $[\bullet \circ \circ]$: difficulté des exercices

I Étude de différentes compressions _____ \star | $[\bullet \circ \circ]$

Cet exercice étudie la compression d'un gaz, en partant d'une pression $p_0 = 1,0$ bar, d'une température $T_0 = 20^\circ\text{C}$, d'un volume $V_0 = 50\text{ cm}^3$, et allant dans l'état final jusqu'à un volume 20 fois plus petit ($V_f = V_0/\alpha$ avec $\alpha = 20$). Il s'agit par exemple des conditions de compression de l'air dans le cylindre d'un moteur diesel.

L'objectif est donc de déterminer la pression p_f et la température T_f dans l'état final.

Pour ceci nous avons besoin d'hypothèses simplificatrices : le gaz est modélisé par un gaz parfait diatomique (exposant $\gamma = 1,4$), et on suppose que la compression vérifie certaines hypothèses : elle est soit adiabatique et réversible, soit isotherme et réversible, soit isotherme et monobare, soit adiabatique et monobare. Nous verrons que T_f et p_f peuvent être différents. Nous calculerons aussi le travail et la chaleur reçus par le gaz.

On rappelle que pour n moles de gaz parfait, on a $C_V = \frac{nR}{\gamma - 1}$. On donne la constante des gaz parfaits : $R = 8.314\text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

1 - Compression adiabatique mécaniquement réversible :

- a - Quelles précautions expérimentales prendre pour réaliser la compression ? (en terme de vitesse de la transformation, de pression extérieure, etc.)
- b - Exprimer puis calculer p_f puis T_f .
- c - Exprimer puis calculer le transfert thermique et le travail reçus par le gaz, ainsi que la variation d'énergie interne ΔU .
- d - Représenter, lorsque c'est possible, l'évolution dans un diagramme p - V .

Reprendre ces quatre questions pour une compression :

2 - isotherme réversible,

3 - isotherme monobare.

4 - Comparaisons des cas 2 et 3 :

- a/ Que peut-on dire des états initiaux et finaux des cas 2 et 3 ?

Qu'en conclure sur les variations des grandeurs d'état ? Est-ce bien le cas ?

En revanche, que remarquez-vous concernant les transferts d'énergie W et Q ? Est-ce normal ?

b/ Pour quelle transformation faut-il fournir le plus de travail ?

Compression adiabatique monobare _____ [●●●]

(facultatif et plus difficile) Enfin, on étudie le cas de la compression adiabatique monobare. Cette fois on considère une compression d'un rapport $\alpha = 2$.

5 - Exprimer p_f , T_f , ΔU , W et Q .

II Résistance chauffante dans une enceinte — [●●○]

On considère une étuve calorifugée fermée et indéformable. La pression extérieure est notée p_0 et vaut 1,0 bar.

L'enceinte contient un gaz monoatomique, modélisé par le modèle du gaz parfait, pour lequel on a les expressions $C_V = \frac{3}{2}nR$ et $C_p = \frac{5}{2}nR$.

Initialement, le volume de l'enceinte est $V_0 = 10.0$ L, la température et la pression du gaz $T_0 = 20^\circ\text{C}$ et p_0 .

Il y a dans l'enceinte une résistance $R_0 = 100 \Omega$, alimentée par un générateur de courant idéal, de courant $I = 0,25$ A.

On met en marche le générateur pendant 10 minutes.

- 1 - Donner l'expression de la puissance thermique dissipée par la résistance.
- 2 - Déterminer l'expression de la température finale atteinte.
- 3 - Reprendre la question précédente dans le cas où l'enceinte n'est pas indéformable, mais fermée par un piston qui est libre de coulisser sans frottements.

On donnera alors également la valeur du volume final.

La calorimétrie est un ensemble de méthodes expérimentales permettant de mesurer les capacités thermiques des différents matériaux.

Détermination de la capacité thermique massique d'un métal

On utilise un calorimètre (image ci-contre), qui est un récipient calorifugé du mieux possible. Un exemple de protocole, dont l'objectif est de déterminer la capacité thermique massique du fer c_{fer} , est le suivant :



- On remplit le calorimètre avec un volume d'eau $V_e = 500 \text{ mL}$ (correspondant à une masse d'eau m_e). On attend que la température se stabilise et on la mesure : $T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.
- On chauffe un morceau de fer de masse $m_0 = 400 \text{ g}$ à une température $T_0 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$. On le place dans l'eau du calorimètre.
- La température s'élève. On attend qu'elle se stabilise et on la relève : $T_2 = 24,6 \text{ }^\circ\text{C}$.

On donne la capacité thermique massique de l'eau $c_{\text{eau}} = 4,2 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

On prendra en compte le fait que le calorimètre absorbe lui-même une partie de la chaleur apportée par le morceau de fer : il possède une capacité thermique $C_{\text{calo}} = 42 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$.

- 1 - Que peut-on supposer sur la transformation ?
- 2 - Établir une relation entre T_0 , T_1 , T_2 , les masses m_0 et m_e , C_{calo} , c_{fer} et c_{eau} .
- 3 - Isoler c_{fer} et faire l'application numérique.

Détermination de la capacité thermique du calorimètre

Ci-dessus on a donné la valeur de la capacité thermique du calorimètre : $C_{\text{calo}} = 42 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$. Mais en pratique, il faut déterminer expérimentalement cette grandeur. Un protocole possible, appelé méthode des mélanges, est le suivant :

- On remplit le calorimètre avec un volume d'eau froide $V_1 = 250 \text{ mL}$. On attend que la température se stabilise et on la mesure : $T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.
 - Dans un autre récipient, on chauffe un volume $V_2 = 250 \text{ mL}$ d'eau jusqu'à une température $T_2 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$. On verse cette eau dans le calorimètre.
 - La température s'élève. On attend qu'elle se stabilise et on la relève : $T_3 = 39,6 \text{ }^\circ\text{C}$.
- 4 - Établir une relation entre T_1 , T_2 , T_3 , les masses m_1 et m_2 d'eau, C_{calo} , et c_{eau} .
 - 5 - Isoler C_{calo} et faire l'application numérique.

Remarque : on introduit parfois la "masse en eau" du calorimètre. Il s'agit de dire que le calorimètre se comporte, du point de vue de sa capacité thermique, comme une masse d'eau μ . Cette masse est donc donnée par la relation $C_{\text{calo}} = \mu \times c_{\text{eau}}$. Avec les chiffres ci-dessus on trouve $\mu = 10 \text{ g}$, donc le calorimètre est équivalent à 10 g ou 10 mL d'eau.

IV Élévation de température par frottements [●●○]

Résolution de problème

Je me frotte les mains pour me réchauffer. De combien de degrés ceci élève-t-il leur température ?

Indications et données :

- On considère pour simplifier qu'une seule des deux mains bouge. La force exercée par la main mobile est de l'ordre de $1\text{kg} \times g \simeq 10\text{N}$.
- Épaisseur des couches superficielles de la peau (épiderme et derme) : $\simeq 3\text{mm}$. Capacité thermique massique de ces couches : $c \simeq 3\text{kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$, et masse volumique : $\rho \simeq 1 \times 10^3\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- On détaillera bien les systèmes auxquels on applique le 1^{er} principe, et les hypothèses effectuées.

V Mélange d'eau _____ [●○○]

Je viens de préparer 50 cl de café soluble à partir d'eau bouillante. Je voudrais le boire tout de suite, mais il est trop chaud.

- 1 - J'ajoute 20 cl d'eau du robinet à 20 °C. On suppose que cet ajout est assez rapide. Déterminer la température finale du mélange en effectuant les hypothèses nécessaires sur la transformation. On prendra $c = 4.2\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ pour l'eau liquide.
- 2 - Pour pouvoir boire sans se brûler, il faut que la température du breuvage ne dépasse pas les 40 °C. Quelle quantité d'eau du robinet faut-il ajouter ?

VI Estimation de la capacité thermique de l'eau [●○○]

J'utilise la bouilloire de ma cuisine pour faire chauffer de l'eau. Sa puissance est de 2300 W. Pour amener 1 L d'eau à ébullition, on chronomètre qu'il faut environ 2 minutes et 55 secondes. L'eau du robinet est initialement à 17 °C.

- 1 - En déduire une estimation de la capacité thermique massique de l'eau.
- 2 - Comparer à la valeur tabulée : $c = 4,2 \times 10^3\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. Quelles sont les hypothèses effectuées dans la modélisation précédente qui peuvent expliquer l'écart ?