

Thermodynamique feuille 3 - premier principe en système fermé

Pour tous les exercices on donne : $R=8,31J.K^{-1}$, $g=9,81ms^{-2}$, $T(K)=T(^{\circ}C)+273$. Capacité thermique massique de l'eau : $c=4,187J.g^{-1}K^{-1}$.

Ballon

Un ballon d'eau chaude passe de 20 à 70°C grâce à une résistance chauffante (voir notice ci-contre).

Ce chauffe-eau est-il parfaitement isolé thermiquement ? Sinon, quel est le pourcentage de l'énergie électrique « perdue » par les fuites thermiques ?

Extrait de la notice d'un chauffe-eau électrique

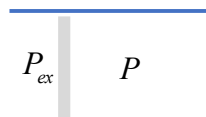
Emplacement	Vertical ou horizontal
Capacité	80 litres
Alimentation	230 V monophasé
Temps de chauffe réel à 70°C	3 h 00
Classe énergétique	B
Puissance nominale	1600 W



Compression monobare

On comprime $n = 2,0 mol$ de gaz parfait diatomique à $T_i = 20^{\circ}C$ et de pression initiale $P_i = 1,0 bar$

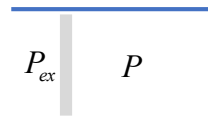
dans un cylindre refermé par un piston de masse négligeable. La pression extérieure P_{ex} passe brutalement à $2,0 bar$. On attend l'équilibre mécanique du piston. La température du gaz juste après la compression vaut $T_f = 60^{\circ}C$. L'énergie interne de ce gaz s'écrit $U(T) = \frac{5}{2} nRT$.



1. Calculer le travail W reçu par le gaz.
2. En déduire le transfert thermique Q libéré par le gaz au cours de la compression.

Compression adiabatique quasi-statique d'un gaz parfait

Un mélange air-essence considéré comme un gaz parfait est enfermé dans un système cylindre/piston d'une Renault Clio 4. Le volume de gaz vaut initialement $V_i = 1149 cm^3$, la



pression $P_i = 0,95 bar$ et la température $T_i = 30^{\circ}C$. Le rapport de compression $r \triangleq \frac{V_i}{V_f}$ vaut 9,8. La

compression étant relativement rapide, on la considère comme adiabatique, mais toutefois quasistatique (la pression reste homogène dans tout le cylindre). On rappelle que pour une telle compression, on a $P V^{\gamma} = K$ constante (loi de Laplace), avec $\gamma = 1,35$ pour le mélange air-essence.

1. Montrer que le travail reçu par le gaz au cours de la compression vaut $W = \frac{1}{\gamma-1} (P_f V_f - P_i V_i)$.

Faire l'application numérique.

2. Calculer la température finale T_f et la quantité de matière n de gaz.

On admet que l'énergie interne d'un tel gaz vaut $U = \frac{nR}{\gamma-1} T$.

3. En déduire la variation d'énergie interne ΔU au cours de la compression.
4. Appliquer le premier principe et en déduire le transfert thermique Q . Application numérique.
Comment aurait-on pu le prévoir ?

Premier principe généralisé

Une météorite en fer de masse $m = 5\text{ kg}$ et de température $T = -30^\circ\text{C}$ parvient en haut de l'atmosphère à l'altitude $h = 20\text{ km}$ à la vitesse $v = 500\text{ km.h}^{-1}$. La capacité thermique massique du fer vaut $c = 460\text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$. La météorite cède un travail de 320 kJ au milieu extérieur en raison des forces de frottement, et perd une quantité de chaleur $Q = 40\text{ kJ}$ par rayonnement et en chauffant l'air et le sol lors du choc. Son volume reste constant.

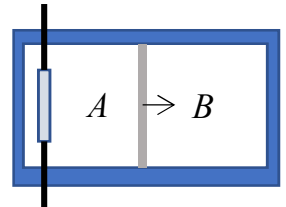
Appliquer le premier principe sous sa version généralisée (avec l'énergie mécanique), et en déduire la température de la météorite juste après le choc.

Mélange idéal de gaz parfaits

On considère deux gaz parfaits identiques placés dans des compartiments de même volume et de pressions respectives $p_1 = 2\text{ bar}$ et $p_2 = 1\text{ bar}$ à la même température initiale. Le réservoir est rigide et isolant (il ne laisse pas passer la chaleur). On met en communication les deux compartiments et on attend l'équilibre. Calculer la variation d'énergie interne de l'ensemble et la pression finale en admettant que l'ensemble forme un mélange idéal.

Chauffage électrique

On considère un récipient à parois rigides (V constant) et isolantes ($Q = 0$) contenant deux gaz parfaits A et B de coefficient $\gamma = 7/5$, séparés par une paroi intérieure isolante mais mobile sans frottement. Les volumes occupés par les gaz peuvent donc varier.



Initialement les paramètres du système sont : $p_0 = 1\text{ bar}$, $T_0 = 300\text{ K}$, et $V_0 = 1\text{ L}$ pour chaque gaz. Un générateur électrique fournit de l'énergie au gaz A par l'intermédiaire d'un conducteur ohmique de résistance $r = 200\Omega$ parcouru par un courant d'intensité $I = 0,1\text{ A}$ pendant une durée $\tau = 50\text{ s}$. On rappelle la puissance dissipée par effet Joule : $\varphi = rI^2$. Dans l'état d'équilibre final les valeurs sont notées $V_A, V_B, p_A, p_B, T_A, T_B$. On mesure $T_B = 328\text{ K}$.

1. Appliquer le premier principe au système global A+B. En déduire la température T_A .
2. Que peut-on dire de p_A et p_B ? En déduire la valeur du rapport V_A/V_B , puis de P_A et P_B .
3. Peut-on dire que la compression de B a été quasi-statique ?

Cycle

L'état initial 0 d'une mole de gaz parfait est caractérisé par $P_0 = 2 \times 10^5 \text{ Pa}$, $V_0 = 14 \text{ L}$. On fait subir successivement à ce gaz les transformations réversibles suivantes :

- | | |
|-------------------|--|
| $0 \rightarrow 1$ | Une détente isobare qui double son volume ; |
| $1 \rightarrow 2$ | Une compression isotherme qui le ramène à son volume initial ; |
| $2 \rightarrow 0$ | Un refroidissement isochore qui le ramène à l'état initial. |

1. A quelle température s'effectue la compression isotherme ? En déduire la pression maximale atteinte. Représenter le cycle de transformations $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 0$ dans le diagramme (P, V)
2. On donne $\gamma \triangleq \frac{c_p}{c_v} = 1,4$. En déduire les valeurs de c_p et c_v .
3. Calculer les travaux et transferts thermiques échangés par le système au cours du cycle, soient $W_1, W_2, W_3, Q_1, Q_2, Q_3$ (par exemple W_1 est le travail reçu par le système entre les états 0 et 1).
4. Que peut-on dire de ΔU pour le cycle entier ? Vérifier numériquement.

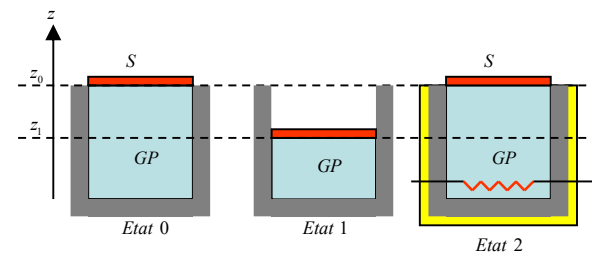
Gaz de Van der Waals

1. Si on pose $\delta Q^{rev} = nc_v dT + l dV$, quelle est l'unité du coefficient calorimétrique l ?
2. L'énergie interne d'un gaz de Van der Waals s'écrit : $U = nc_v T - \frac{n^2 a}{V}$. En déduire la valeur numérique de l pour 1 mol de O_2 à 300K, qui se trouve dans un volume de 200 cm^3 . On donne $b(O_2) = 32 \text{ cm}^3$ et $c_v(O_2) = 21 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$.
3. En déduire de combien varie approximativement la température de ce gaz si son volume augmente très rapidement de 5 cm^3 .

Piston

On considère un cylindre de révolution à parois conductrices de la chaleur, de volume $V_0 = 1L$ et de section interne $S = 20cm^2$. Ce cylindre contient un gaz parfait monoatomique en équilibre thermodynamique avec l'atmosphère, de pression $P_0 = P_{ex} = 1bar$ et de température $T_0 = T_{ext} = 20^\circ C$. On referme alors le cylindre par un disque de diamètre adapté et de masse $m = 1kg$. Ce piston coulisse sans frottement, et on suppose qu'il n'y a pas de fuite. On attend l'équilibre thermodynamique. Le gaz se trouve alors dans l'état 1.

On rappelle que $0K = -273^\circ C$ et $R = 8,31(SI)$ et $g = 9,81(SI)$.



1. Déterminer T_1 puis P_1 . Pour P_1 on écrira que le piston est à l'équilibre sous l'action de trois forces à déterminer. En déduire V_1 et z_1 (hauteur du piston) dans l'état 1.

On place alors une paroi isolante (athermane) autour du cylindre. On chauffe de manière quasi-statique le gaz intérieur à l'aide d'une résistance chauffante. On constate que le piston se soulève (on le considère lui-même comme isolant). Le but des questions qui suivent est de déterminer le transfert thermique Q qu'il faut ainsi apporter au gaz pour que le piston remonte à sa hauteur initiale. On se retrouve alors dans l'état 2.

2. Déterminer sans calcul V_2 et P_2 .
3. Pour cette transformation $1 \rightarrow 2$, exprimer le travail du poids du piston en fonction de m, g, S, V_0, V_1 . Application numérique.
4. Exprimer le travail du gaz extérieur (sur le système piston + gaz) en fonction de P_{ex}, V_1, V_2 . A.N.

Rappel : Dans un gaz parfait, il n'y a aucune interaction à distance entre particules. Son énergie interne se réduit donc à son énergie cinétique microscopique. Or avec le modèle microscopique du gaz parfait

monoatomique on a obtenu $E_{c,micro} = \frac{3}{2}nRT$. On a donc ici : $\Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T$

5. Exprimer la variation d'énergie interne du gaz intérieur (pour le passage de l'état 1 à l'état 2) en fonction de P_1, V_0, V_1 . Application numérique.
6. Ecrire le premier principe et en déduire Q .