Premier principe

1 Transformations de tous les jours

1) Vous placez dans un thermos du thé bouillant et de l'eau froide, comment pouvez-vous modéliser la transformation ?
2) Vous oubliez votre tasse de café dans la cuisine la journée, comment pouvez-vous modéliser la transformation ?
3) En appliquant le premier principe, déterminer la température finale T_f lorsque l'on met dans un thermos 80cL de thé à 90°C et 20cL d'eau à 20°C.

2 Travaux reçus par un gaz parfait

On comprime une masse m d'air, de température $T_1 = 300$ K et de pression $P_1 = 2$ bar, de telle sorte que son volume initial soit réduit de moitié. On considérera l'air comme un gaz parfait, $\mathrm{M_{air}} = 29$ g. mol^{-1}. Calculer le travail reçu dans les transformations quasi statiques suivantes :
1) Transformation isobare à P_1
2) Transformation isotherme à T_1
3) Transformation suivant la loi de Laplace $\mathrm{PV}^\gamma = \mathrm{cste}$ ($\gamma = 1.4$)

Rép : $W_1 = \dfrac{mRT_1}{2M}$; $W_2 = \dfrac{m}{M}RT_1 \ln 2$; $W_3 = \dfrac{P_1V_1}{1-\gamma}\left(1 - \dfrac{1}{2^{\gamma-1}}\right)$

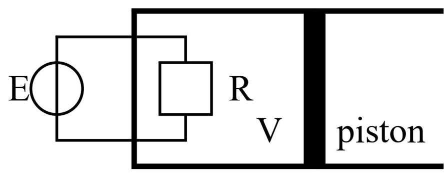
3 Évolution monobare brutale d'un gaz parfait

Une mole de gaz parfait de capacité thermique molaire à volume constant Cv = 5/2R est contenue dans un cylindre calorifugé comportant un piston vertical de surface S = 0.01 m^2, en contact avec l'atmosphère ($\mathrm{P_0}$ = 1 bar). Initialement, le gaz est en équilibre à la température $\mathrm{T_0}$ = 300 K. On donne g = 10 m.s^{-2}
1) On pose sur le piston une masse de 100 kg. Déterminer P_1 et T_1 à l'équilibre
2) L'équilibre étant atteint, on supprime la masse. Déterminer P_2 et T_2 au nouvel état d'équilibre. Commenter.

Rép : $P_1 = 2 = 2P_0$ bar $(= 2P_0)$, $T_1 = \dfrac{9}{7}T_0 = 385$ K ; $P_2 = 1$ bar, $T_2 = \dfrac{6}{7}T_1 = 330$ K, transformations irréversibles

4 Chauffage par résistance

Un cylindre calorifugé enferme n moles de gaz parfait. Le piston, de masse négligeable, enferme initialement un volume $\mathrm{V_0}$, à la température $\mathrm{T_0}$. La pression est alors égale à la pression atmosphérique externe $\mathrm{P_0}$. Soit C la capacité thermique de la résistance, Cv la capacité thermique molaire à volume constant du gaz. En appliquant le premier principe à un système bien choisi, donner l'expression de V en fonction du temps, lorsque le courant parcourt la résistance.



Rép : $V = V_0 + \dfrac{E^2 t/R_e}{(C + nc_v)P_0/nR + P_0}$

5 Étude de différentes compressions

On étudie la compression d'un gaz parfait (de $\gamma = 1,4$), en partant d'une pression $p_0 = 1,0$ bar, d'une température $T_0 = 20$°C, d'un volume $V_0 = 50$ 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.
On rappelle que pour n moles de gaz parfait, on a $C_V = \frac{nR}{\gamma-1}$. On donne la constante des gaz parfaits : $R = 8.314$ J $\cdot$ mol$^{-1} \cdot$ K^{-1}.
1 - Compression adiabatique 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 ?

Rép : 1 - $T_f = 971$ K, $P_f = 66$ bar ; $W = \Delta U = 29$J ; 2 - $T_f = 293$ K, $P_f = 20$ bar ; $W = -Q = 15$J ; 3 - $T_f = 293$ K, $P_f = 20$ bar ; $W = -Q = 95$J

6 Détermination de la capacité thermique massique d'un solide

1) Un calorimètre contient $m_1 = 95$ g d'eau à $T_1 = 20°C$. On ajoute $m_2 = 71$ g d'eau à $T_2 = 50°C$. Quelle serait la température d'équilibre Te si l'on pouvait négliger la capacité thermique du vase et de ses accessoires ?
2) La température d'équilibre est en fait Te = 31.3°C. En déduire la valeur en eau m_0 du vase et de ses accessoires, c'est à dire la masse d'eau de même capacité thermique totale que le vase.
3) Le même calorimètre contient maintenant $m'_1 = 100$ g d'eau à $T'_1 = 15°C$. On y plonge un échantillon métallique de masse $m = 25$ g à $T'_2 = 95°C$. La température d'équilibre est $T'e = 16.7°C$. Calculer la capacité thermique massique du métal, connaissant celle de l'eau $c_0 = 4.18$ J.g^{-1}.K^{-1}

Rép : Te=32,8°C ; $m_0 = 22,5$ g ; $c = 0,44$ J.g^{-1}.K^{-1}

7 Détente de Joule Gay-Lussac

Le dispositif étudié dans cet exercice a été mis eu point au XIX ^{e} siècle par Joule et Gay-Lussac en vue d'étudier le comportement des gaz. Deux compartiments indéformables aux parois calorifugées communiquent par un robinet initialement fermé. Le compartiment (1), de volume V_1, est initialement rempli de gaz en équilibre à la température T_i. Le vide est fait dans le compartiment (2). Une fois le robinet ouvert, un nouvel équilibre s'établit, caractérisé par une température T_f du gaz.
1 - Montrer que cette détente est isoénergétique, c'est-à-dire que l'énergie interne du gaz ne varie pas au cours de la transformation. Cette propriété dépend-elle du gaz ?
2 - Déterminer la température T_f dans le cas où le gaz est parfait.
L'expérience est réalisée avec de l'argon, qui peut être efficacement modélisé par un gaz de van der Waals. L'équation d'état d'un tel gaz s'écrit

$$\left(P + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

avec a et b deux constantes positives caractéristiques du gaz et son énergie interne vaut

$$U = nC_{V\ \text{m}}T - \frac{n^2a}{V}$$

Les travaux de van der Waals sur le comportement microscopique des gaz ont été de première importance, et il en a été récompensé par le prix Nobel 1910. Pour l'argon, $C_{V\ \text{m}} = 12\ \text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.
3 - Interpréter physiquement l'origine du terme de cohésion a et du volume exclu b. Nommer et interpréter la constante $C_{V\ \text{m}}$.
4 - Expérimentalement, on observe que la température de l'argon diminue de $5,4$ K au cours de la détente réalisée pour deux compartiments de volumes $V_0 = 1,0$ L et $n = 1,0$ mol. En déduire la valeur du terme de cohésion a de l'argon.

Rép : $\Delta T_{GP} = 0; a = -0,13$ J.m^3.mol^{-1}

8 Calorimétrie (d'après Oral CCP)

Dans un récipient parfaitement calorifugé, on place une masse M d'eau à $T_1 = 293$ K et une masse $m = 500$ g de glace à $T_2 = 273$ K. On travaille à la pression constante de 1 bar.
1. Donner le principe de fonctionnement, faire un schéma, décrire le protocole expérimental et le dispositif pour réaliser des mesures par calorimétrie.
2. Donner la définition d'une transformation adiabatique. Quelle fonction d'état faut-il utiliser pour étudier la transformation ? Justifier.
3. Déterminer la composition et la température du mélange à l'équilibre si la masse d'eau est $M = 1.0$ kg.
4. Déterminer la composition et la température du mélange à l'équilibre si la masse d'eau est $M = 4.0$ kg.
Données :
- Enthalpies massiques de changement d'état $\Delta h_\text{fus} = 3.36 \times 10^5$ J kg^{-1}, $\Delta h_\text{vap} = 2.26 \times 10^6$ J kg^{-1}.
- Capacité thermique massique de l'eau liquide $c_e = 4.20 \times 10^3$JK^{-1} kg^{-1}.
- Capacité thermique massique de la glace $c_g = 2.06 \times 10^3$JK^{-1} kg^{-1}.
- Capacité thermique massique de la vapeur d'eau $c_v = 1.85 \times 10^3$JK^{-1} kg^{-1}.

Rép : 2. Pas d'échange sous forme thermique. Transformation monobare avec équilibre mécanique $\Delta H = Q = 0$ (car adiabatique). 3. hyp : système entière liquide... on aboutit à une contradiction. hyp : équilibre liquide/solide $\Delta H = Mc_e(T_{fus} - T_1) + mc_g(T_{fus} - T_2) + x\Delta h_{fus} = 0$ avec x masse de glace fondue... $x = \frac{Mc_e(T_1 - T_\text{fus}) + mc_g(T_2 - T_\text{fus})}{\Delta h_\text{fus}} = 0.25$ kg. 4. hyp : équilibre liquide/vapeur... on trouve $x = 1.0$ kg $> m$ impossible. hyp : système entièrement liquide... on trouve $T_F = \frac{Mc_eT_1 + mc_eT_\text{fus} - m\Delta h_\text{fus}}{(M+m)c_e} = 282$ K (car $T_2 = T_\text{fus}$).