

Conversion d'énergie TD n :01

Exercice :1 énergie interne - travail – chaleur ; Changement d'état

q. 1. Un m^3 d'air (assimilé à un gaz parfait) sous une pression $P_1 = 10 \text{ bar}$ subit une détente à température constante ; la pression finale est de $P_2 = 1 \text{ bar}$. Déterminer le travail et le transfert thermique échangés par le gaz avec le milieu extérieur au cours de cette détente.

q. 2. Un récipient fermé par un piston mobile renferme 2 g d'hélium (gaz parfait monoatomique) dans les conditions (P_1, V_1) . On opère une compression adiabatique de façon réversible qui amène le gaz dans les conditions (P_2, V_2) . Sachant que $P_1=1 \text{ bar}$; $V_1 = 10\text{L}$; $p_2 = 3 \text{ bar}$. Déterminer :

- le volume final V_2
- le travail échangé par le gaz avec le milieu extérieur
- la variation d'énergie interne du gaz /
- déduire la variation de température du gaz sans calculer sa température initiale.

On donne : $\gamma = C_p/C_v = 5/3$; $R = 8,32 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

q. 3. Calculer la variation d'énergie interne de chacun des systèmes suivants :

- un système absorbe $Q = 2\text{kJ}$ tandis qu'il fournit à l'extérieur un travail $W = 500 \text{ J}$.
- un gaz maintenu à volume constant cède $Q = 5\text{kJ}$.
- la compression adiabatique d'un gaz s'accomplit par un travail $W = 80 \text{ J}$

Exercice 02 détente irréversible d'un gaz dans l'atmosphère (énergie interne, enthalpie, entropie)

On considère un gaz parfait diatomique qui occupe un récipient calorifugé de volume V_0 sous la pression p_0 à la température T_0 . p_0 est la pression à l'extérieure du récipient. On ouvre le robinet et le gaz se détend

irréversiblement dans l'atmosphère. $\gamma = 1,4 = 7/5$

- Exprimer la température T_1 du gaz résiduel en fonction de T_0 .
- Exprimer la variation de l'énergie interne en fonction de p_0, V_0, T_0 et γ
- Même question pour l'enthalpie et l'entropie

Exercice 03 Calorimétrie :Un vase calorifugé contient $m_1=200\text{g}$ de liquide de capacité thermique massique $c_1=2850 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ à la température $t_1 =20^\circ\text{C}$. On y plonge rapidement un bloc de cuivre de masse $m_2=250\text{g}$ ($c_2=390 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$) pris initialement à la température $t_2 =80^\circ\text{C}$. La capacité thermique du récipient est $C_3=150\text{JK}^{-1}$ est soigneusement refermé.

- Déterminer la température d'équilibre.
- Calculer la variation globale d'entropie au cours de cette opération.
- On retire le couvercle et on laisse l'ensemble se refroidir lentement jusqu'à la température ambiante 20°C . Quelle est la variation d'entropie de l'ensemble {vase + liquide + cuivre}. Quelle est la variation d'entropie de l'ensemble {vase + liquide + cuivre + milieu extérieur}. Conclure.

corrigé 0 énergie interne - travail - chaleur

isotherme : à n et T constante $p_1 V_1 = p_2 V_2$ d'où $V_2 = V_1 p_1 / p_2 = 10 \text{ m}^3$.

travail élémentaire des forces de pression - $pdV = -nRT / V dV = -nRT d(\ln V)$; intégrer entre V_1 et V_2 .

$$W_1 = -\int_1^2 P dV = -nRT \int_1^2 \frac{dV}{V} = -nRT \int_1^2 d(\ln V) = -nRT \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \text{ avec } nRT = p_1 V_1 = p_2 V_2 \text{ et } p_1 = 10^6 \text{ Pa ; } v_1 = 1 \text{ m}^3 ;$$

$V_2 / V_1 = 10$; $W = -10^6 \ln 10 = -2,3 \cdot 10^6 \text{ J}$. L'énergie interne d'un gaz parfait dépend que de la température ; si T = cte alors $\Delta U = 0$ or $\Delta U = W + Q$ donc $Q = -W = 2,3 \cdot 10^6 \text{ J}$

adiabatique : $p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$ s'écrit $(V_2 / V_1)^\gamma = p_1 / p_2 = 0,333$ avec $\gamma = 5/3$; $V_2 / V_1 = 0,3333^{(3/5)} = 0,517$

$V_2 = 5,17 \text{ L}$. travail élémentaire des forces de pression - pdV avec $p = \text{Cte} / V^\gamma$. intégrer entre V_1 et V_2 .

$$W = -\text{Cte} \int_1^2 \frac{dV}{V^\gamma} = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{\gamma - 1}$$

pression en pascal, volume en m^3 . $W = (3 \cdot 10^5 * 5,17 \cdot 10^{-3} - 10^5 * 10^{-2}) / (1,666 - 1) = 2125 \text{ J}$.

adiabatique donc $Q = 0$; $\Delta U = W + Q = W$; $\Delta U = nR \Delta T$

avec $n = 2$ / masse molaire hélium = $2/4 = 0,5$; $\Delta T = 2125 / (0,5 * 8,32) = 511 \text{ K}$.

variation interne d'énergie : $\Delta U = W + Q$; absorbe 2000 J donc $Q = +2000 \text{ J}$; fournit un travail donc $W = -500 \text{ J}$;

$\Delta U = +1500 \text{ J}$.

corrigé 1 détente irréversible d'un gaz dans l'atmosphère

Travail reçu par le gaz : travail élémentaire reçu par le gaz lors d'une transformation élémentaire quelconque

$\delta W = -p_0 dV$ d'où $W = -p_0 (V_1 - V_0)$, V_1 étant le volume du gaz détendu dans l'atmosphère sous la pression p_0 .

équation des gaz parfait : initial : $3p_0 V_0 = nRT_0$ (1) ; final : $p_0 V_1 = nRT_1$ (2) ; (2) divisé par (1) donne $V_1 = 3V_0 T_1 / T_0$.

repport dans l'expression du travail : $W = -p_0 V_0 (3T_1 / T_0 - 1)$

exprimer de 2 manières différentes l'énergie interne : $\Delta U = W + Q$ avec $Q = 0$, système calorifugé.

$\Delta U = -p_0 V_0 (3T_1 / T_0 - 1)$ (3) $\Delta U = nC_{vm} (T_1 - T_0)$ $n = 3p_0 V_0 / (RT_0)$ et $C_{vm} = R / (\gamma - 1) = 2,5 R$

$\Delta U = 3p_0 V_0 / [T_0 (\gamma - 1)] (T_1 - T_0) = 3p_0 V_0 / (\gamma - 1) (T_1 / T_0 - 1)$ (4)

écrire (3) = (4) d'où : $-3T_1 / T_0 + 1 = 3 / (\gamma - 1) (T_1 / T_0 - 1)$

$T_1 = T_0 (\gamma + 2) / (3\gamma) = 17 / 21 T_0$. la température finale du gaz diminue.

énergie interne, enthalpie:

$3T_1 / T_0 = 17 / 7$; $3T_1 / T_0 - 1 = 10 / 7$; $\Delta U = -10p_0 V_0 / 7$; $\Delta H = \gamma \Delta U = -2p_0 V_0$.

entropie : $dU = TdS - pdV = nC_{vm}dT$; $dS = nC_{vm} / T dT + p/T dV = nC_{vm} / T dT + nR/V dV$

pour la transformation globale : $\Delta S = nC_{vm} \ln(T_1 / T_0) + nR \ln(V_1 / V_0)$, $n = 3p_0 V_0 / (RT_0)$; $V_1 / V_0 = 3T_1 / T_0 = 17 / 7$;

$C_{vm} = 2,5 R$. $\Delta S = 3p_0 V_0 / T_0 [2,5 \ln(17 / 21) + \ln(17 / 7)]$

corrigé 6 entropie échangée- entropie créée

Le transfert thermique s'effectue sous pression constante: rechercher la variation d'enthalpie ΔH

le vase est calorifugé : $\Delta H = 0$; il n'y a pas de changement d'état physique : $\sum m_i c_i \Delta T_i = 0$

on effectue des différences de température, on peut conserver les degrés Celcius.

liquide : $m_1 c_1 (T_e - T_1) = 0,2 * 2850 (T_e - 20) = 570 T_e - 11400$.

cuivre : $m_2 c_2 (T_e - T_2) = 0,25 * 390 (T_e - 80) = 97,5 T_e - 7800$.

vase : $C_3 (T_e - T_1) = 150 (T_e - 20) = 150 T_e - 3000$.

faire la somme, résoudre l'équation à une inconnue T_e

$570 T_e - 11400 + 97,5 T_e - 7800 + 150 T_e - 3000 = 0$, $817,5 T_e = 22200$, $T_e = 27,16^\circ \text{C}$.

variation d'entropie lors du refroidissement du cuivre (phases condensées incompressibles)

$\Delta S = \sum m_i c_i \ln [T_e / T_i]$

on fait des rapports de températures, mettre les températures en kelvin

liquide : $m_1 c_1 \ln(T_e / T_1) = 0,2 * 2850 \ln(300,16 / 293) = 13,76 \text{ J K}^{-1}$.

cuivre : $m_2 c_2 \ln(T_e / T_2) = 0,25 * 390 \ln(300,16 / 353) = -15,8 \text{ J K}^{-1}$.

vase : $C_3 \ln(T_e / T_1) = 150 \ln(300,16 / 293) = 3,62 \text{ J K}^{-1}$.

total : $1,58 \text{ J K}^{-1}$. valeur positive donc entropie créée lors d'une transformation irréversible.

même méthode de calcul de la variation d'entropie du système { vase + cuivre + liquide }

entropie échangée entre le système et l'extérieur

$(m_1 c_1 + m_2 c_2 + C_3) \ln [T_1 / T_e] = 817,5 \ln(293 / 300,16) = -19,73 \text{ J K}^{-1}$.

variation d'entropie lors du transfert thermique du système vers l'extérieur

$\Delta S = -\Delta Q_p / T_1 = \sum m_i c_i \Delta T_i / T_1 = -817,5 (293 - 300,16) / 293 = 19,977 \text{ J K}^{-1}$.

variation d'entropie de l'univers : $19,977 - 19,73 = 0,24 \text{ J K}^{-1}$.

Une valeur positive donc entropie créée lors d'une transformation irréversible.