TD Thermodynamique 02 : Premier principe, Bilans d'énergie

Exercice 1 – Équilibre thermique

On considère le système isolé constitué de deux solides de capacités thermiques C_1 et C_2 séparés par une paroi calorifugée. Ils sont initialement aux températures T_1 et T_2. À l'instant initial, on enlève la paroi calorifugée. Déterminez la température finale T_f du système.

Exercice 2 – Chauffage de l'eau sous toutes ses formes

On considère deux élévations de la température de l'eau :

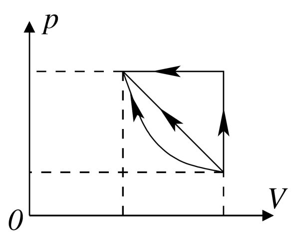
- On échauffe deux moles de vapeur d'eau dans un récipient fermé de volume constant de 273 K à 573 K.
- On échauffe trois litres d'eau liquide de 273 à 373 K.

Quelle quantité de chaleur faut-il apporter dans chacun des deux cas décrits ci dessus pour réaliser l'élévation de température ? On donne $C_{pm} = 30{,}54 + 0{,}0103\ T\ J.K^{-1}.mol^{-1}$ la capacité thermique molaire à pression constante de l'eau sous forme de vapeur et $c_v = 4{,}18\ kJ.K^{-1}.mol^{-1}$ la capacité thermique massique de l'eau liquide.

Exercice 3 – Divers modes de compression

On souhaite comprimer une mole de gaz parfait diatomique, de coefficient $\gamma = 1{,}4$ initialement à la pression p0 et à la température T_0 de manière à réduire son volume d'un facteur deux. La température finale est égale à la température initiale. Pour cela, on envisage trois méthodes différentes :

- Méthode 1 : compression isotherme quasi-statique.
- Méthode 2 : chauffage isochore puis refroidissement isobare quasi statique.
- Méthode 3 : transformation suivant le segment de droite sur le diagramme (p, V).



1. Associez à chacun des trajets l'une des méthodes proposée.
2. Pour chacune des évolutions, exprimez le travail W et le transfert thermique Q reçus par le gaz en fonction de R et T_0.

Exercice 4 – Transformation cyclique

Un récipient de 10 L contient de l'air sous une pression de 80 cmHg à la température de 20°C. On assimile l'air à un gaz parfait dont le coefficient γ est égal à 1,4 et auquel on fait subir une suite de transformations :

- Transformation 1 : Une compression isotherme infiniment lente jusqu'à la pression de 800 cm de mercure.
- Transformation 2 : Retour à la pression initiale par une détente adiabatique infiniment lente.
- Transformation 3 : Retour à l'état initial par une transformation monobare.

Au cours d'une transformation adiabatique réversible, un gaz parfait vérifie la loi de Laplace : $PV^\gamma = cste$. 760 mmHg = 1hPa

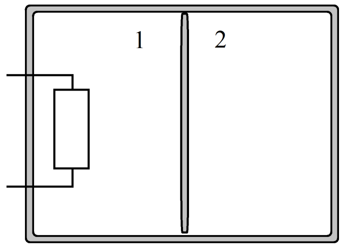
1. Tracez le cycle décrit ci dessus de manière soigneuse, en positionnant correctement les différentes transformations les unes par rapport aux autres.
2. Déterminez pour chaque transformation la valeur des variables d'état à l'état d'équilibre final (P_f, T_f, V_f) ainsi que la valeur des transferts énergétiques avec le milieu extérieur et la variation d'énergie interne du système.
3. Calculez la somme des transferts énergétiques sur un cycle. Que pouvez-vous en conclure ?

Exercice 5 – Cuisine étudiante

Captivé par son travail (ou toute autre activité), un étudiant désireux de se cuisiner des pâtes oublie sur le feu le litre d'eau qu'il avait prévu de faire bouillir, au point que la totalité de l'eau présente dans la casserole s'est évaporée. On dispose des données suivantes : la chaleur latente de vaporisation de l'eau $l_v = 2257\ kJ.kg^{-1}$, la capacité thermique massique de l'eau liquide $c_l = 4180\ J.K^{-1}.kg^{-1}$, le volume molaire de la vapeur d'eau $V_m = 30{,}6\ L.mol^{-1}$ à 100°C sous un bar.

1. Déterminez les variations d'enthalpie et d'énergie interne d'un kilogramme d'eau liquide à 100 °C que l'on vaporise sous la pression P = 1 bar. On assimilera la vapeur d'eau à un gaz parfait.
2. Calculez alors le transfert thermique nécessaire pour faire passer un litre d'eau liquide à 25 °C à l'état de vapeur à 100 °C, sous une atmosphère.
3. Quelle serait la masse que l'on pourrait hisser au sommet de la Tour Eiffel, à 324 m, en utilisant cette énergie ?

Exercice 6 – Évolution d'un système à deux enceintes



Soit un cylindre indéformable constitué de deux enceintes séparées par un piston mobile libre de se déplacer sans frottement, le mouvement de la paroi s'effectuant horizontalement. Les parois du cylindre et du piston mobile sont supposées athermanes. Initialement, chaque enceinte renferme le même volume V_0 = 2,0 L d'hélium sous la pression atmosphérique P_0 = 1,0 atm à la températureT_0 = 273 K. On considère que l'hélium est un gaz parfait dont le rapport des capacités thermiques à pression et volume constant est $\gamma = C_p/C_v = 5/3$. On chauffe l'enceinte E_1 à l'aide d'une résistance chauffante R et l'on suppose la transformation suffisamment lente pour être quasistatique. On note E_2 la seconde enceinte.

1. Sachant que l'on arrête le chauffage lorsque la pression de l'enceinte E_1 atteint la valeur $P_1 = 3P_0$, déterminez la valeur de la pression P_2.
2. Caractérisez la transformation subie par l'hélium dans le compartiment 2, puis déterminez le volume V_2 et la température T_2 de cette enceinte à l'état final.
3. Déduisez-en le volume V_1 et la température T_1 de la première enceinte à l'état final.
4. Calculez les variations d'énergie interne de l'hélium de chacune des deux enceintes.
5. Déduisez-en le travail électrique W_{elec} fourni par la résistance chauffante.

Exercice 7 – Calorimétrie

La calorimétrie est une partie de la thermodynamique qui a pour objectif d'évaluer les transferts thermiques. Pour cela, on utilise des calorimètres, appareils destinés à mesurer des échanges de chaleur qui sont par hypothèse isolés de l'extérieur par des parois calorifugées ou adiabatiques, ce qui ne signifie pas pour autant que le calorimètre n'échange pas avec les systèmes qu'on y introduit.

1. Valeur en eau

Afin d'effectuer des mesures fiables, il est nécessaire d'étalonner le calorimètre, c'est-à-dire de connaître la valeur en eau de celui-ci, c'est-à-dire la masse d'eau qui aurait la même capacité thermique que le calorimètre et ses accessoires. Afin de mesurer celle-ci, on ajoute 71 g d'eau à 50°C dans un calorimètre qui en contient 95 g à 20°C.

1.1 Quelle est la variation d'enthalpie du système {calorimètre, accessoires, deux volumes d'eau} ?

1.2 Quelle serait la température d'équilibre si on pouvait négliger la capacité thermique du calorimètre et de ses accessoires devant celle de l'eau ?

1.3 La température d'équilibre observée est 31,3°C. Déduisez-en la « valeur en eau » du calorimètre et de ses accessoires.

2. Mesures calorimétriques

2.1 Le même calorimètre contient maintenant 100,0 g d'eau à 15,0°C. On y plonge un échantillon de métal de masse 25,0 g sortant de l'étuve à 95,0°C. La température d'équilibre étant de 16,7°C, calculez la capacité thermique massique du métal. La capacité thermique massique de l'eau est $c_0 = 4{,}18\ J.g^{-1}.K^{-1}$.

2.2 Le même calorimètre contient une masse m_0 d'eau à la température T_0. À l'intérieur, on place une résistance R dans laquelle on fait passer un courant d'intensité I constante. La résistance R varie avec la température suivant la loi $R = R_0 + aT$ avec R_0 et a constantes. À t = 0, on allume le générateur. Déterminez l'expression de la température de l'eau en fonction du temps.

Corrigés

Exercice 1

1. $p_g = nRT/(a+x)$; $p_d = nRT/(a-x)$
2. $m\ddot{x} = (p_d - p_g)s$
3. $\ddot{x} + 2\frac{nRT}{ma^2}x = 0$

Exercice 2

1. 1.1 $P_b = P_{atm}(1+V_{max}/V_b)$
   1.2 $\Delta n = P_{atm}(V_{max}-V_{min})/Rt_a$
   1.3 $\Delta n = 0{,}08$ mol
2. 2.1 $V' = P_{atm}V_{max}/p$
   2.2 $p'(V_{min}+V_b) = pV_b+P_{atm}V_{max}$
   $\Delta pV_b = P_{atm}V_{max}-pV_{min}$
   2.3 $p_{max}V_{min} = P_{atm}V_{max}$
   2.4 $\Delta p = 3{,}9.10^4$ Pa
3. 3.1 $\frac{dp}{dt} + \alpha\frac{V_{min}}{V_b}p = \alpha\frac{V_{max}}{V_b}P_{atm}$
   $p(t) = P_{atm}\left((1-\frac{V_{max}}{V_{min}})e^{\frac{-t}{\tau}}+\frac{V_{max}}{V_{min}}\right)$
   3.3 T = 42 s

Exercice 3

1.
2. 2.1 $P_1 = 1$ bar ; $P_2 = 2^4$ bar
   2.2 x = 6,11 mm
   2.3 Plus d'eau liquide,
   $P_f = 12{,}2$ bar

Exercice 4

1. Pas de comportement de GP.
2. On obtient bien une droite.
3. Régression linéaire,
   $b = 9{,}09.10^{-5}$ $m^3.mol^{-1}$
4. r = 0,5 nm environ

Exercice 5

1. $n^* = 3{,}3.10^{28}$ particules.m^{-3}
2. $n^* = 1{,}8.10^{25}$ particules.m^{-3}

Exercice 6

1. $v_l = 11{,}2$ km/s
2. $v_{qH2} = 1{,}9$ km/s
   $v_{qN2} = 0{,}50$ km/s
3. T_T de l'ordre de 10^5 K

Exercice 7

1. $dN_{1\to2} = N_1vsdt/6V$
   $dN_{2\to1} = N_2vsdt/6V$
2. $dN1 = (N_2-N_1)vsdt/6V$
3. $\frac{dN_1}{dt} + \frac{vs}{3V}N_1 = N_0\frac{vs}{6V}$
4. $\tau = 3V/vs$
5. $\tau = \frac{V}{s}\sqrt{3\frac{M}{RT}}$
6. Effusion de temps caractéristique proportionnel à la racine carrée de la masse molaire.