Thermodynamique | Chapitre 3 | TD (θ3)

Exercice n°1 • Détente de Joule-Gay-Lussac *cours*

On considère une enceinte aux parois rigides et calorifugées, divisée en deux compartiments de volume V_0 identique. L'un des compartiment contient n moles de gaz parfait à la température T_0, l'autre est entièrement vide. À l'instant $t = 0$, on ouvre le robinet reliant les deux compartiments. On suppose que cette action s'effectue sans travail fourni au gaz.

Déterminer la température finale.

Exercice n°2 • Échauffement par effet Joule *cours*

On considère une enceinte calorifugée contenant n moles d'un liquide incompressible et indilatable de capacité calorifique molaire à volume constant $C_{V,m}$. Dans cette enceinte, une résistance électrique R est parcourue par un courant I. On néglige la capacité de la résistance et de l'enceinte devant celle du liquide.

Déterminer l'expression du temps Δt à attendre pour élever la température du liquide d'une température ΔT.

Exercice n°3 • Mélange de gaz parfaits *cours*

On considère une enceinte aux parois rigides et calorifugées, divisée en deux compartiments de volume respectif V_1 et V_2. Les compartiments contiennent respectivement n_1 et n_2 moles du même gaz parfait à la température T_1 et T_2. À l'instant $t = 0$, on ouvre le robinet reliant les deux compartiments. On suppose que cette action s'effectue sans travail fourni au gaz.

Déterminer la température finale du mélange en fonction de n_1, n_2, T_1 et T_2.

Exercice n°4 • Transformations infinitésimales *cours*

Toutes les parois de cet exercice sont rigides et calorifugées.

On considère une enceinte formée de deux compartiments. Le compartiment de gauche, de volume V_1 et de température T_1, contient n_1 moles de gaz parfait. Le compartiment de droite, de volume V_2 et de température T_2, contient n_2 moles du même gaz parfait. Ce compartiment est lui même divisé en une infinité de compartiments élémentaires de volume dV et contenant chacun dn moles de gaz.

On enlève les parois une par une. On note $n \in [n_1 ; n_1 + n_2]$, P, V, et T les paramètres d'état du compartiment de gauche à un instant quelconque.

1) Déterminer une relation entre dP, dV, dn et dT, les variations infinitésimales de P, V, n et T lors du retrait d'une paroi.

2) Déterminer V en fonction de n.

3) Déterminer T en fonction de n.

Exercice n°5 • Cycle de Lenoir *cours*

Suite du TD θ2

L'état initial (noté 0) d'une mole de gaz parfait monoatomique est : $P_0 = 2$ bar, $V_0 = 14$ L. On lui fait subir la transformation cyclique ci-dessous. On considère l'équilibre mécanique avec le milieu extérieur constamment atteint.

- Détente isobare qui double son volume ($0 \to 1$).
- Compression isotherme qui le ramène à son volume initial ($1 \to 2$).
- Refroidissement isochore qui le ramène à son état initial ($2 \to 0$).

6) Exprimer puis évaluer le transfert thermique de chaque étape.

Exercice n°6 • Expériences de calorimétrie *cours*

Dans tous l'exercice, note μ la valeur en eau du calorimètre et on néglige la capacité thermique des différents accessoires. On note c_{eau} la capacité thermique de l'eau liquide. On note T_f la température à la fin d'une expérience.

1) On place dans un calorimètre une masse m_1 d'eau liquide à la température T_1. On ajoute une masse m_2 d'eau liquide à la température T_2. Exprimer la valeur en eau du calorimètre.

2) On place dans un calorimètre une masse m_1 d'eau liquide à la température T_1. On place dans l'eau une résistance R, parcouru par un courant I pendant Δt. Exprimer c_{eau}.

3) On place dans un calorimètre une masse m_1 d'eau liquide à la température T_1. On place dans l'eau un solide de masse m_2 de capacité thermique massique c inconnue à la température T_2. Exprimer c.

Exercice n°7 • Préparation d'un thé glacé *cours*

On souhaite réaliser du thé glacé (assimilé à de l'eau), en mettant un volume $V_1 =_5$ 00 mL de thé liquide (masse $m_1 = 500$ g) à $T_0 = 20$ °C dans un thermos avec N

glaçons de masse $m_2 = 8,0$ g à $T_1 = -18$ °C.

Données :

- Température de fusion de l'eau : $T_{fus} = 0$ °C ;
- Enthalpie massique de fusion de l'eau à T_{fus} : $\Delta h_{fus} = 335$ kJ·kg^{-1} ;
- Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_\ell = 4,18$ kJ·K^{-1}·kg^{-1} ;
- Capacité thermique massique de l'eau solide : $c_s = 2,09$ kJ·K^{-1}·kg^{-1} ;

1) Quels sont les différents états finaux possibles en fonction du nombre N de glaçons ajoutés et, pour chaque état, quel paramètre permet de caractériser l'état final?

2) Déterminer l'état final dans le cas où l'on ajoute $N = 4$ glaçons.

3) Déterminer l'état final dans le cas où l'on ajoute $N = 15$ glaçons.

Exercice n°8 • Échauffement d'un gaz parfait ★☆☆

On enferme $n = 0,1$ mol de diazote dans un cylindre thermostaté à $T_0 = 27$ °C, fermé par un piston mobile sans frottement de section $S = 100$ cm^2. La pression atmosphérique est $P_0 = 1$ bar. On néglige la force pressante due au poids du piston devant la force pressante atmosphérique.

1) Calculer la hauteur h occupée par le gaz dans le cylindre.

2) Le piston étant bloqué dans la position initiale, on élève la température du thermostat à $T_1 = 50$ °C. Quelle est la nature de la transformation ? Calculer le travail W et la chaleur Q échangés entre le gaz et l'environnement.

3) En repartant de l'état initial, on élève à nouveau la température jusqu'à T_1 mais en laissant libre le piston. Quelle est la nature de la transformation ? Calculer le travail W' et la chaleur Q' échangés entre le gaz et l'environnement.

Exercice n°9 • Évolution irréversible ★⯪☆

Un volume d'air $V_1 = 2,00$ L est enfermé dans un cylindre vertical, fermé par un piston de surface $S = 20$ cm^2 et de masse négligeable. Le piston peut se déplacer verticalement sans frottement à l'intérieur du cylindre. L'air est considéré comme un gaz parfait diatomique et se trouve initialement à la température $T_1 = 298$ K sous la pression $P_1 = 1,013$ bar.

On pose sur le piston une masse $m = 1$ kg. Le piston descend brusquement puis se stabilise. La compression, rapide, est supposée adiabatique.

1) Calculer la pression P_2, la température T_2 et le volume V_2 du gaz à la fin de cette compression, ainsi que W_{12} et Q_{12}.

Après un temps long, le gaz retrouve un état d'équilibre thermodynamique avec le milieu extérieur.

2) Déterminer la pression la pression P_3, la température T_3 et le volume V_3 après ce temps long, ainsi que W_{23} et Q_{23}.

Exercice n°10 • Marteau-pilon ★⯪☆

Un marteau-pilon de masse $m_P = 1,0 \cdot 10^5$ kg tombe d'une hauteur $h = 3,0$ m sur un objet en aluminium de masse $m_A = 50$ kg. La température du marteau ne varie pratiquement pas alors que celle de l'objet varie de ΔT.

Données :

- masse molaire de l'aluminium : $M_{\text{Al}} = 27$ g·mol^{-1}
- capacité thermique molaire de l'aluminium : $C_m = 3R$
- champ de pesanteur : $g = 9,8$ m·s^{-2}

Déterminer ΔT.

Exercice n°11 • Bilans énergétiques ★★☆

On considère un cylindre indéformable divisé en deux compartiments par un piston (de masse négligeable) mobile (sans frottement). Les parois du cylindre et le piston sont adiabatiques. On néglige la capacité thermique des parois. Initialement, les deux compartiments $\mathcal{C}_1$ et $\mathcal{C}_2$ contiennent un même volume $V_0 = 1,0$ L d'un gaz parfait monoatomique à la pression $P_0 = 1$ bar et à la température $T_0 = 300$ K.

Le compartiment $\mathcal{C}_1$ contient un résistor de résistance $R = 200\ \Omega$ et de capacité thermique $C = 4,0$ J·K^{-1}. On y fait circuler un courant $I_0 = 0,2$ A pendant la durée $\Delta t = 50$ s.

On note P_1, V_1, T_1, P_2, V_2 et T_2 les paramètres d'états des deux gaz dans l'état final (après un temps Δt).

1) Déterminer une relation liant les variations $\Delta T_1 = T_1 - T_0$ et $\Delta T_2 = T_2 - T_0$ des températures des gaz.

On mesure $T_2 = 360$ K.

2) Déterminer la température T_1.

3) En déduire les volumes V_1 , V_2 et les pressions P_1 et P_2.

4) Aurait-on pu négliger la capacité thermique du résistor ?

Exercice n°12 • Bouteille thermos ★★☆

Une bouteille thermos peut être considérée comme un calorimètre, c'est-à-dire un système de faible capacité thermique et pouvant pratiquement isoler thermiquement son contenu du milieu extérieur.

On place une masse $m = 580$ g d'eau dans la bouteille, on attend l'équilibre thermique et on mesure $T_1 = 20$ °C. On ajoute ensuite une autre masse $m = 580$ g d'eau à $T_2 = 80$ °C dans la bouteille, on attend à nouveau l'équilibre thermique et on mesure $T_{eq} = 49$ °C. Les manipulations sont réalisées suffisamment vite pour que les pertes thermiques soient négligeables.

1) Quelle aurait été la température $T_{eq,0}$ si la capacité thermique de la bouteille était nulle ?

2) Déterminer la valeur de la capacité thermique C_t de la bouteille thermos utilisée.

3) On peut lire sur la notice fournie par le constructeur du calorimètre que la masse équivalente en eau de la bouteille et de ses accessoires est $m_c = 40$ g. Commenter cette valeur numérique.

Si on attend plus longtemps on constate que la température $T(t)$ du contenu du calorimètre varie au cours du temps. On interprète cette variation par l'existence de pertes thermiques à travers la surface de la bouteille. Ces pertes sont modélisées par une puissance thermique perdue par la bouteille $\mathcal{P}_{th} = kS\,(T(t) - T_{ext})$ où k est une constante positive et où S désigne l'aire de la surface extérieure de la bouteille, au contact de la pièce de température $T_{ext} = 20$ °C.

On considérera pour simplifier que le système constitué par la bouteille et tout ce qu'elle contient est homogène, à la température $T(t)$, et on note C sa capacité thermique supposée constante.

4) Commenter le signe de $\mathcal{P}_{th}$ quand $T(t) > T_{ext}$.

5) Établir l'équation différentielle régissant l'évolution de $T(t)$. Faire apparaître un temps caractéristique τ.

6) Résoudre l'équation différentielle précédente sachant qu'à l'instant initial $T(0) = T_0 = 60$ °C. Tracer l'allure de la courbe représentative de l'évolution de $T(t)$.

7) On a mesuré une baisse de température $\Delta T = -1$ °C en $\Delta t = 10$ min. Quelle est la valeur de τ ?

Exercice n°13 • Plaque à induction ★★☆

Le foyer d'une plaque à induction possède une puissance maximale de 2300 W.Estimer le temps nécessaire pour porter à ébullition un litre d'eau à l'aide de cette plaque à induction.

Exercice n°14 • Transpiration ★★☆

Quel volume d'eau devez-vous éliminer par transpiration pour débarrasser votre corps des 75 W de puissance thermique correspondant à votre métabolisme lorsque vous êtes au repos ?

On prendra la température de la peau égale à 33 °C et l'enthalpie massique de vaporisation de l'eau à cette température égale à 2420 kJ·kg^{-1}.

Commenter, sachant qu'un être humain évacue en moyenne par transpiration environ $0,5$ L d'eau par jour.

Le fait de s'essuyer avec une serviette aide-t-il au refroidissement du corps ?

Exercice n°15 • Eau glacée ★★½

Une enceinte calorifugée en contact avec l'atmosphère de pression $P_0 = 1$ bar contient la masse $m_1 = 100$ g d'eau liquide de température initiale $T_1 = 290$ K et de capacité thermique massique à pression constante $c_1 = 4,16$ kJ·kg^{-1}·K^{-1}.

On y introduit la masse m_2 de glace de température initiale $T_2 = 260$ K, de capacité thermique massique à température constante $c_2 = 2,09$ kJ·kg^{-1}·K^{-1}.

On note $T_0 = 273$ K la température de fusion de la glace à la pression atmosphérique et on donne l'enthalpie de fusion de la glace sous la pression atmosphérique $\ell_{fus} = 333$ kJ·kg^{-1}.

1) Déterminer les valeurs du paramètre $x = m_2/m_1$, notées x_s et x_ℓ pour lesquelles le système à l'équilibre est constitué respectivement de glace à 0 °C et d'eau liquide à 0 °C.

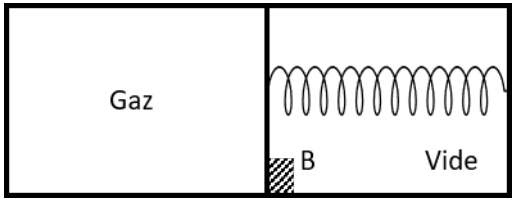
2) Préciser l'état du système pour $x \leq x_\ell$, pour $x \geq x_s$ et pour $x \in [x_\ell; x_s]$.

3) Calculer numériquement $m_{2,\ell}$ et $m_{2,s}$ puis estimer le nombre de glaçons correspondant pour un verre d'eau.

4) On prend $m_2 = 30$ g. Déterminer la composition du système dans l'état final.

Exercice n°16 • Détente d'un gaz sous l'action d'un ressort ★★★

On considère un piston mobile dans un cylindre calorifugé horizontal de section S.



Le compartiment de gauche contient n moles d'un gaz supposé parfait, coefficient de Laplace γ et le compartiment de droite est soumis à un vide poussé. Le piston est relié par un ressort de raideur k.

Initialement, le piston est coincé par une butée B. La longueur du ressort est alors égale à sa longueur à vide. La pression du gaz vaut P_0 et sa température T_0. On enlève la butée B. Le système évolue vers un nouvel état d'équilibre. On cherche à déterminer les paramètres d'état du système dans l'état final.

Montrer que la pression finale P_f est solution de l'équation :

$$\frac{(\gamma+1)\,S^2}{2k}\,P_f^2 + V_0\,P_f - nRT_0 = 0$$

Éléments de correction

❶ $\Delta T = 0$ ❷ $\Delta t = \dfrac{n\,C_{V,m}}{RI^2}$ ❸ $T_f = \dfrac{n_1T_1 + n_2T_2}{n_1+n_2}$ ❹ 1) $\dfrac{dP}{P} + \dfrac{dV}{V} = \dfrac{dn}{n} + \dfrac{dT}{T}$. 2) $V = V_1 + \dfrac{V_2}{n_2}(n-n_1)$. 3) $T = \dfrac{n_1T_1 + (n-n_1)\,T_2}{n}$. ❺ 6) $Q_{01} = \dfrac{5P_0V_0}{2} = 7,0$ kJ ; $Q_{12} = -2P_0V_0\ln(2) = -3,9$ kJ et $Q_{20} = -\dfrac{3P_0V_0}{2} = -4,2$ kJ. ❻ 1) $\mu = -\dfrac{m_1\,(T_f-T_1) + m_2\,(T_f-T_2)}{T_f-T_1}$. 2) $c_{eau} = \dfrac{RI^2\Delta t}{(\mu+m_1)\,(T_f-T_1)}$. 3) $c = -\dfrac{(\mu+m_1)\;c_{eau}\,(T_f-T_1)}{m_2\,(T_f-T_2)}$. ❼ 1) Liquide si $T_f > 0$, solide si $T_f < 0$, mélange solide/liquide si $T_f = T_{fus}$ et x_ℓ à déterminer. 2) $T_f = 13,4$ °C. 3) $x_\ell = 92,8$ %. ❽ 1) $h = \dfrac{nRT_0}{P_0S} = 25$ cm. 2) $W = 0$ et $Q = \dfrac{5}{2}nR\,(T_1-T_0)$. 3) $W' = -nR\,(T_1-T_0)$ et $Q' = \dfrac{7}{2}nR\,(T_1-T_0)$. ❾ 1) $P_2 = P_1 + \dfrac{mg}{S} = 1,062$ bar, $T_2 = \left(\dfrac{5}{7} + \dfrac{2P_2}{7P_1}\right)T_1 = 302$ K et $V_2 = \dfrac{nRT_2}{P_2} = 1,93$ L. $W_{12} = \dfrac{5}{2}\,(T_2-T_1) = 7,00$ J et $Q_{12} = 0$. 2) $P_3 = P_2$, $T_3 = T_1$ et $V_3 = \dfrac{nRT_3}{P_3} = 1,91$ L. $W_{23} = -P_3\,(V_3-V_2) = 2,80$ J et $Q_{23} = \dfrac{7}{2}nR\,(T_3-T_2) = -9,81$ J. ❿ $\Delta T = \dfrac{m_P g h M_{\text{Al}}}{3Rm_A} = 64$ K. ⓫ 1) $RI_0^2\Delta t = \left(\dfrac{3P_0V_0}{2T_0} + C\right)\Delta T_1 + \dfrac{3P_0V_0}{2T_0}\Delta T_2$. 2) $T_1 = 382$ K. 3) $V_1 = \dfrac{2V_0T_1}{T_2+T_1} = 1,03$ L, $V_2 = 0,97$ L et $P_1 = P_2 = 1,24$ bar. 4) Non. ⓬ 1) $T_{eq,0} = \dfrac{T_1+T_2}{2} = 50$ °C. 2) $C_t = -\dfrac{mc_{eau}\,(2T_{eq}-T_1-T_2)}{T_{eq}-T_1} = 167$ J·K^{-1}. 3) OK. 4) $\mathcal{P}_{th} > 0$. 5) $\dfrac{dT}{dt} + \dfrac{T}{\tau} = \dfrac{T_{ext}}{\tau}$ avec $\tau = \dfrac{C}{kS}$. 6) $T(t) = (T_0 - T_{ext})\,e^{-t/\tau} + T_{ext}$. 7) $\tau = -\dfrac{\Delta t}{\ln\left(1 + \dfrac{\Delta T}{T_0 - T_{ext}}\right)} = 395$ min. ⓭ Environ 2 min 30 s. ⓮ 2,7 L d'eau. ⓯ 1) $x_s = 14,9$ et $x_\ell = 0,197$. 2) Liquide $T > T_0$, solide $T < T_0$, mélange ℓ/s à T_0. 3) $m_{2,\ell} = 19,7$ g et $m_{2,s} = 1,49$ kg. 4) 63 % des glaçons ont fondu. ⓰ Écrire : équations d'état des GP (EI et EF), équilibre mécanique, premier principe, relation volume / longueur du ressort.