TH2 - TD

Exercices d'application directe du cours

Exercice n°1 Comparaison de 2 transformations pour passer d'un état A à un état C

Une certaine quantité de gaz parfait monoatomique est initialement dans l'état A défini par $V_A = 10{,}0\,\text{L}$, $T_A = 300\,\text{K}$ et $P_A = 1{,}00 \times 10^5\,\text{Pa}$. Elle subit alors une transformation isochore réversible l'emmenant dans l'état B avec $T_B = 350\,\text{K}$, puis une isotherme réversible l'emmenant à l'état C avec $P_C = 1{,}00 \times 10^5\,\text{Pa}$.

Q1. Récapituler dans un tableau les pressions, températures et volumes dans les différents états.

Q2. Représenter ces évolutions dans un diagramme (P, V).

Q3. Évaluer le transfert thermique Q_{AB} reçu par le gaz pendant la transformation AB.

Q4. Évaluer le transfert thermique Q_{BC} reçu par le gaz pendant la transformation BC.

Q5. En déduire le transfert thermique Q reçu pendant la transformation totale ABC.

Q6. Dans une autre expérience, le gaz passe directement de l'état A à l'état C par une isobare réversible. Quel est le transfert thermique Q' reçu par le gaz ?

Q7. Quelle caractéristique du transfert thermique vérifie-t-on ici ?

Q3. $Q_{AB} = 255\,\text{J}$; Q4. $Q_{BC} = 184\,\text{J}$; Q6. $Q' = 425\,\text{J}$

Exercice n°2 Calorimétrie

Les expériences de calorimétrie sont réalisées dans une enceinte (le calorimètre) suffisamment isolée pour négliger les échanges thermiques avec l'extérieur, sous pression atmosphérique constante. L'enceinte intérieure du calorimètre et ses accessoires (agitateur et thermomètre) interviennent dans les échanges thermiques, puisque leur température varie au cours des expériences. La capacité thermique C du calorimètre, c'est-à-dire de l'enceinte intérieure du calorimètre et ses accessoires, vaut $C = 130\,\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$.

On réalise l'expérience de calorimétrie dont le protocole est le suivant :

— Peser au préalable une quantité d'eau liquide à température ambiante, noter la masse $m_1 = 240\,\text{g}$ obtenue et verser cette eau dans le calorimètre, en mesurant sa température $T_1 = 20\,°\text{C}$.

— Placer la masse $m_2 = 100\,\text{g}$ de cuivre solide à la température $T_2 = 80\,°\text{C}$ (auparavant dans une étuve dont la température est connue) dans le calorimètre.

— Fermer le calorimètre. Noter la valeur de température d'équilibre $T_3 = 22\,°\text{C}$.

Q1. En considérant comme système fermé le calorimètre et son contenu, montrer qu'au cours de cette expérience l'enthalpie H de ce système vérifie $\Delta H = 0$.

Q2. Exprimer la variation de l'enthalpie au cours de la transformation étudiée en fonction des trois températures, les capacités thermiques et les masses.

Q3. Déterminer la valeur expérimentale de la capacité thermique massique du cuivre c_{Cu}.

Q3. $c_{\text{Cu}} = 391\,\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

Exercices ⋆

Exercice n°3 Détente de Joule-Gay-Lussac : gaz réel/parfait

L'expérience de la détente de Joule-Gay-Lussac a été menée pour la première fois en 1806 par Louis Gay-Lussac, et reprise en 1845 par James Joules. Le principe est le suivant : deux récipients de volume V_1 et V_2, aux parois parfaitement calorifugées et indéformables, sont reliés par l'intermédiaire d'un robinet (T) qui est initialement fermé. Le récipient de gauche contient un gaz à la température T_i et à la pression P_i et on fait un vide poussé dans le compartiment de droite. Des sondes permettent la détermination de la température et de la pression dans le compartiment de gauche.
À $t = 0$, on ouvre le robinet : le gaz se détend dans le vide et finit par occuper l'ensemble des deux récipients. On atteint un nouvel état d'équilibre et la température du gaz devient T_2. On suppose que l'ouverture du robinet ne s'accompagne d'aucun travail reçu par le gaz. La pression extérieure P_e est constante.

Q1. En considérant comme système fermé le contenu des deux compartiments, caractériser la transformation subie par ce système.

Q2. Montrer que cette détente est iso-énergétique et conservera ainsi l'énergie interne du gaz.

Q3. On dit d'un fluide qu'il suit la première loi de Joule lorsqu'il ne subit aucune variation de température lors d'une détente de Joule-Gay-Lussac. Les gaz parfaits vérifient-ils la première loi de Joule ? Quelle est alors la pression finale dans le dispositif ?

Dans la pratique, on observe une légère diminution de la température du gaz pour la quasi-totalité des gaz. On peut les modéliser en utilisant le modèle de Van der Waals, dans lequel l'équation d'état des gaz s'écrit pour n moles : $\left(P + \dfrac{n^2 a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$ et l'énergie interne $U_{VdW} = nC_{Vm}T - \dfrac{n^2 a}{V}$ +constante, avec $a > 0$ et $b > 0$ deux constantes.

Q4. Donner la dimension des coefficients a et b.

Q5. Déterminer la température finale T_2 atteinte par le gaz.

Q6. Pour le dioxygène, $C_{Vm} = 21\,\mathrm{J{\cdot}K^{-1}{\cdot}mol^{-1}}$, $a = 1{,}32$ USI. En déduire la variation de température $T_2 - T_i$ pour $n = 0{,}80\,\mathrm{mol}$, $V_1 = V_2 = 5{,}0\,\mathrm{L}$.

Q3. $P_f = \frac{nRT_i}{V_1+V_2}$; Q4. $[a] = \mathrm{ML^5T^{-2}N^{-2}}$ et $[b] = \mathrm{L^3N^{-1}}$; Q5. $T_2 = T_i - \frac{naV_2}{C_{Vm}\,V_1\,(V_1+V_2)}$

Exercice n°4 Compression d'un gaz parfait

Un gaz parfait monoatomique est placé dans une enceinte cylindrique de section $S = 20\,\mathrm{cm^2}$, aux parois diathermanes, munie d'un piston. Le piston coulisse verticalement sans frottement, son poids pouvant être supposé négligeable devant les forces de pression.
Initialement, le gaz est en équilibre avec l'atmosphère $T_1 = 293\,\mathrm{K}$ et $P_1 = 1{,}0\,\mathrm{bar}$. Le volume initial de l'enceinte est de $V_1 = 5{,}0\,\mathrm{L}$ (état ①).
On pose sur le piston, une masse $M = 1{,}0\,\mathrm{kg}$. Le piston descend brusquement puis se stabilise (état ②). La compression, rapide, est supposée adiabatique.

Q1. Déterminer la pression P_2 à la fin de cette compression.

Q2. Déterminer W_{12} et Q_{12} au cours de cette compression.

Q3. Par application du premier principe et l'équation d'état des gaz parfaits, déterminer la température T_2 et le volume V_2 à la fin de la compression.

À la suite d'échanges thermiques à travers les parois du cylindre, l'équilibre thermique se fait avec l'extérieur (état ③).

Q4. Comment peut-on qualifier cette transformation ?

Q5. Déterminer la pression finale P_3 et le volume final V_3.

Q6. Déterminer $\Delta_{23}U$, W_{23} et Q_{23} au cours de cette transformation.

On repart de l'état (1) de départ, et cette fois-ci, la masse précédente M est déposée très lentement (sous forme de grains de sable) sur le piston.

Q7. Comment peut-on qualifier cette transformation ?

Q8. Déterminer la pression P_4, la température T_4 et le volume V_4 à la fin de cette compression (état ④).

Q9. Déterminer $\Delta_{14}U$, W_{14} et Q_{14} au cours de cette compression. Comparer ces grandeurs avec $\Delta_{13}U = \Delta_{12}U + \Delta_{23}U$, W_{13}, et Q_{13}. Commenter.

Q2. $W_{12} = -P_2(V_2 - V_1)$ et $Q_{12} = 0$; Q3. $V_2 = 4{,}9\,\mathrm{L}$ et $T_2 = 299\,\mathrm{K}$; Q5. $P_3 = P_2$, $V_3 = 4{,}77\,\mathrm{L}$; Q6. $\Delta 23U = -14{,}7\,\mathrm{J}$, $W_{23} = 9{,}8\,\mathrm{J}$; Q8. $P_4 = P_2$, $V_4 = V_3$; Q8. $\Delta 14U = 0\,\mathrm{J}$, $W_{14} = 23{,}9\,\mathrm{J}$

Exercice n°5 Chauffage d'une chambre

La chambre de Toto est séparée de l'extérieur par des murs en béton, qui forment une enceint que l'on suppose parfaitement étanche. La température régnant à l'extérieur est supposée constante égale à $T_0 = 280\,\mathrm{K}$. La température $T(t)$ à l'intérieur du local est supposée uniforme mais non constante et à l'équilibre thermique avec la surface des murs (pas de convection). La puissance perdue par la pièce à cause des fuites thermiques est égale à $\mathrm{P}_{th} = \frac{1}{R}\left(T(t) - T_0\right)$ avec $R = 2{,}00 \times 10^{-2}\,\mathrm{K{\cdot}W^{-1}}$ la résistance thermique des parois, et elle est chauffée par un radiateur délivrant une puissance P. À l'instant $t = 0$, la température est $T(0) = T_0$ et Toto allume le radiateur.

Q1. Estimer la capacité thermique à volume constant de l'air dans la pièce (système que l'on supposera fermé), pour les dimensions classiques d'une chambre étudiant, en assimilant l'air à un gaz parfait diatomique de masse molaire $M = 29\,\mathrm{g{\cdot}mol^{-1}}$.

Q2. La conductivité thermique du béton vaut $\lambda_b = 0{,}8\,\mathrm{W{\cdot}K^{-1}{\cdot}m^{-1}}$. Estimer l'épaisseur des murs.

Q3. Déterminer l'expression littérale de la fonction $T(t)$ et tracer son allure.

Q4. Quelle est la puissance du radiateur pour obtenir une température de 19 °C dans la pièce ?

Q5. En fait il y a une fenêtre dans la chambre de résistance thermique R_f. Dessiner le circuit électrique équivalent.

Q6. Dans les conditions précédentes, on mesure 14 °C au lieu de 19 °C. La fenêtre en simple vitrage mesure 1,2 m par 80 cm. Quelle est l'épaisseur du verre ? On donne la conductivité thermique du verre $\lambda_V = 1{,}2\,\mathrm{W{\cdot}K^{-1}{\cdot}m^{-1}}$.

Exercice n°6 Température d'un conducteur ohmique

Un conducteur ohmique de résistance $R = 1{,}00\,\mathrm{k\Omega}$, assimilé à une phase condensée idéale de capacité thermique C, est placé dans l'air ambiant dont la température $T_0 = 293\,\mathrm{K}$ est supposée constante. On modélise les transferts thermiques entre ces deux systèmes en supposant que le conducteur ohmique à la température T reçoit pendant un intervalle de temps dt un transfert thermique infinitésimal $\delta Q = a(T_0 - T)\,\mathrm{d}t$ de la part de l'atmosphère. À partir de $t = 0$, le conducteur ohmique est parcouru par un courant d'intensité $I = 100\,\mathrm{mA}$ constante.

Q1. Établir l'équation différentielle vérifiée par la température T du conducteur ohmique pour $t \geq 0$. Quel est la durée caractéristique τ du phénomène décrit par cette équation ?

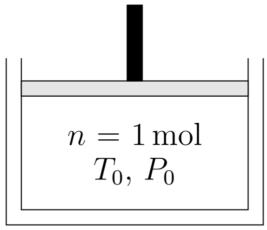
Q2. Au bout d'un temps suffisamment long, le conducteur ohmique atteint une température limite $T_1 = 313\,\mathrm{K}$. En déduire la valeur du coefficient a.

Q1. $a = \frac{RI^2}{T_1 - T_0}$

Exercices ⋆ ⋆

Exercice n°7 Loi de Laplace

Un gaz parfait est enfermé dans une enceinte adiabatique surmontée d'un piston athermane. À l'instant initial, les n moles de ce gaz se trouvent à la température T_0 sous la pression P_0, comme sur le schéma ci-dessous :



Un opérateur agit très lentement sur le piston et amène le gaz dans un état final $(T_1,\ P_1)$.
On suppose que le piston coulisse sans frottements dans l'enceinte.

Q1. On suppose que les capacités thermiques molaires $C_{P,\mathrm{m}}$ et $C_{V,\mathrm{m}}$ sont indépendantes de la température. Montrer qu'il existe une relation $f(T,P) = \text{constante}$, T et P étant la température et la pression du gaz à un instant quelconque de la transformation.
On introduira $\gamma = \dfrac{C_{P,\mathrm{m}}}{C_{V,\mathrm{m}}}$.

Q2. Exprimer alors la relation liant T_0, P_0, T_1, P_1 et γ ; puis P_0, V_0, P_1, V_1 et γ et enfin T_0, V_0, T_1, V_1 et γ .

Q3. Exprimer, par un calcul direct, le travail échangé entre le gaz et le milieu extérieur.

Q4. Retrouver ce résultat grâce à un bilan énergétique.

Exercice n°8 Gaz pénétrant dans un récipient

Un récipient de volume V_0 est initialement vide. Il est entouré par de l'air à la pression atmosphérique P_0 et à la température T_0. On perce un petit trou de sorte que de l'air pénètre dans le récipient. On referme le trou dès que les pressions intérieure et extérieure sont égales. Quelle est alors la température de l'air ayant pénétré dans le récipient ? On pourra supposer la transformation comme adiabatique après avoir expliqué pourquoi. L'air est considéré comme un gaz parfait de rapport γ.