

Travaux dirigés de Thermodynamique n°4

Transformations simples de gaz parfaits

Exercice 1 : Compression adiabatique d'un gaz parfait

On comprime de manière adiabatique, quasi-statique, une mole de gaz parfait diatomique ($\gamma=1,4$), de 1bar à 10bar. Le volume initial a pour valeur $V_1=5L$.

1. Déterminer le volume final V_2 et la température finale T_2 .
2. Déterminer le travail reçu par le gaz lors de cette compression.

Exercice 2 : Compression isotherme d'un gaz parfait

On comprime de manière réversible une masse $m=8g$ d'argon ($M=40g/mol$), supposé être un gaz parfait monoatomique, de la pression $p_1=1bar$ à la pression $p_2=10bar$, à la température constante $T=298K$.

1. Calculer les volumes V_1 et V_2 d'argon, respectivement à l'état initial et à l'état final.
2. Exprimer puis calculer numériquement le travail W et le transfert thermique Q reçus par le gaz lors de cette compression. Discuter le signe de W .

Exercice 3 : Comparaison d'évolutions entre deux états.

Un récipient de volume $V_A=5L$ fermé par un piston contient $n=0,5mol$ de gaz parfait, initialement à la température $T_A=287K$. On porte de façon quasistatique le volume du gaz à une valeur $V_B=20L$, à la température $T_B=350K$. On donne pour ce gaz le coefficient $\gamma=1,4$.

Le passage de l'état A à l'état B s'effectue de deux manières différentes :

- (1) Chauffage isochore de 287K à 350K puis détente isotherme de V_A à V_B à la température 350K.
- (2) Détente isotherme de V_A à V_B à la température 287K puis chauffage isochore de 287K à 350K.
 1. Représenter les deux évolutions précédentes dans un diagramme de Watt.
 2. Exprimer puis calculer le travail W_1 et le transfert thermique Q_1 reçus par le gaz ainsi que la variation d'énergie interne ΔU_1 du gaz lors du premier « trajet ».
 3. Exprimer puis calculer le travail W_2 et le transfert thermique Q_2 reçus par le gaz ainsi que la variation d'énergie interne ΔU_2 du gaz lors du second « trajet ».
 4. Comparer les deux possibilités d'évolution de A à B.

Exercice 4 : Compression isotherme puis monotherme – D'après ENSAM

Un gaz parfait est enfermé dans un cylindre de volume $V_1=5L$ à l'intérieur duquel peut coulisser (sans frottement) un piston de masse négligeable. A l'extérieur du piston, la température est $T_{ext}=293K$, la pression est $P_{ext}=1atm$. La paroi du cylindre étant parfaitement diatherme, à l'équilibre, la température du gaz est toujours $T_{ext}=293K$. Au départ, la pression du gaz est $p=P_1=P_{ext}$.

1. En appuyant sur le piston, on augmente très légèrement la pression jusqu'à $P_2=10atm$. Calculer T_2 , V_2 , ΔU et Q .
2. On passe maintenant instantanément de P_1 à P_2 puis on attend l'équilibre qui interviendra forcément après quelques oscillations du piston si on considère la viscosité du gaz. Calculer T'_2 , V'_2 , $\Delta'U$ et Q' .

On rappelle : $1atm=1,013 \cdot 10^5 Pa$.

Calorimétrie

Exercice 5 : Calorimétrie pratique.

On veut remplir une baignoire de 100 litres d'eau à 32°C. On dispose pour cela de deux sources, l'une d'eau chaude à 60°C, l'autre d'eau froide à 18°C. Si on néglige la capacité thermique de la baignoire et les diverses pertes thermiques, quel volume doit-on prélever à chacune des deux sources ?

Données : masse volumique de l'eau $\rho=1000\text{kg/m}^3$.

Exercice 6 : Echanges thermiques dans un calorimètre.

Un calorimètre de capacité calorifique $C_{\text{cal}}=209\text{J/K}$ contient une masse d'eau $m=300\text{g}$ à la température $\theta=18^\circ\text{C}$ en équilibre thermique avec le vase intérieur. On introduit alors les masses :

- $M_1=50\text{g}$ de cuivre à $\theta_1=30^\circ\text{C}$,
- $M_2=30\text{g}$ de plomb à $\theta_2=80^\circ\text{C}$,
- $M_3=80\text{g}$ de fer à $\theta_3=50^\circ\text{C}$.

Quelle est la température finale θ_f d'équilibre ?

Données : capacités thermiques massiques $c_{\text{Pb}}=129,5\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$; $c_{\text{Fe}}=452\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$; $c_{\text{Cu}}=385\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$; $c_{\text{eau}}=4185\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

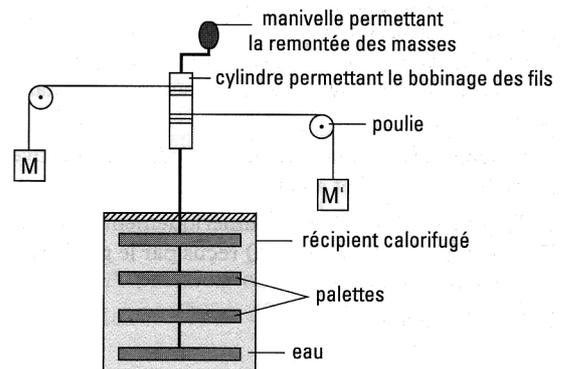
Exercice 7 : Expérience de Joule.

L'expérience de Joule est représentée ci-après. Lorsque les masses M et M' descendent, la rotation des palettes entraîne une élévation de la température de l'eau du calorimètre.

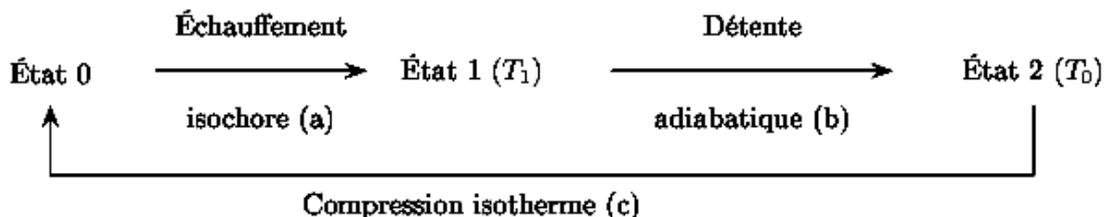
Déterminer la variation de température obtenue lorsque les deux masses M et M' , de même valeur 0,5kg, descendent d'une hauteur $h=1\text{m}$. Peut-on tirer une conclusion d'une telle expérience mise en œuvre une seule fois ?

On néglige les dissipations énergétiques au niveau des axes de rotation et à travers les parois du calorimètre.

Données : capacité thermique du calorimètre $C_{\text{cal}}=120\text{J/K}$; masse d'eau dans le calorimètre $m=2\text{kg}$; capacité thermique massique de l'eau $c_{\text{eau}}=4185\text{J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$; accélération de la pesanteur $g=9,81\text{m.s}^{-2}$.

*Transformations cycliques***Exercice 8 : Transformations d'un GPM**

Un réservoir contient un volume V_0 d'un gaz parfait monoatomique de coefficient γ à une température T_0 et une pression p_0 . On réalise la suite des transformations quasistatiques suivante :



1. Représenter le cycle réalisé dans le diagramme de Watt $p(V)$.
2. Préciser pour chaque transformation (a), (b), (c) le travail échangé, le transfert thermique et la variation d'énergie interne du gaz parfait en fonction des seules données γ , p_0 , V_0 , T_0 et T_1 .

Exercice 9 : Bilan d'énergie du Cycle de LENOIR

L'état initial d'une mole de gaz parfait est ($p_0=2 \cdot 10^5 \text{Pa}$, $V_0=14\text{L}$). On lui fait subir successivement et de manière quasistatique :

- Une détente isobare qui double son volume,
- Une compression isotherme qui le ramène à son volume initial,
- Un refroidissement isochore qui le ramène à son état initial.

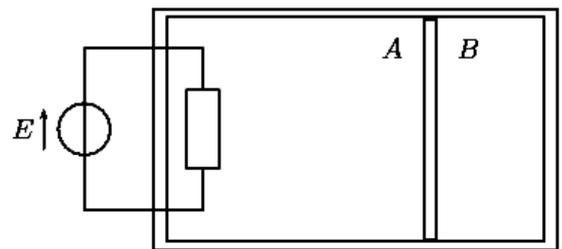
1. A quelle température T_1 , la compression s'effectue-t-elle ? En déduire p_2 , la valeur de la pression maximale atteinte.
2. Représenter le cycle décrit par ce gaz dans le diagramme de Watt (p, V).
3. Calculer le travail et le transfert thermique échangé par le système au cours du cycle.

On donne $R = 8,32 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Systèmes thermodynamiques plus complexes

Exercice 10 : Transformations couplées.

Un récipient de volume $2V$, parfaitement calorifugé est partagé en deux compartiments A et B par un piston mobile sans frottement, également calorifugé. Chaque compartiment contient n moles d'un gaz parfait diatomique ($g=1,4$) qui occupe initialement un volume $V=2\text{L}$ sous la pression $p=1\text{bar}$, à la température $T=300\text{K}$. Dans le compartiment A, un conducteur ohmique de résistance R peut fournir un transfert thermique Q_A par effet Joule.



On applique une différence de potentiel E aux bornes du résistor jusqu'à ce que la pression p_A du compartiment A soit égale à $2p$. Le chauffage est suffisamment lent pour considérer les évolutions comme quasi statiques.

1. Déterminer les volumes et températures V_A , T_A , T_B , V_B à la fin de l'évolution.
2. Exprimer puis calculer numériquement les travaux W_A et W_B reçus par les deux gaz, le transfert thermique Q_B reçu par le gaz dans le compartiment B, ainsi que les variations d'énergie ΔU_A et ΔU_B de chacun des gaz.
3. Calculer le transfert thermique Q fourni par le conducteur ohmique.

Exercice 11: Evolutions irréversibles

Un volume d'air $V_1=2,00\text{L}$ est enfermé dans un cylindre vertical, fermé par un piston de surface $S=20\text{cm}^2$ 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 ($\gamma=1,4$) et se trouve initialement à la température $T_1=298,0\text{K}$ sous la pression $p_1=1,013\text{bar}$.

1. On pose sur le piston une masse $M=1\text{kg}$.

Le piston descend brusquement puis se stabilise. La compression, rapide, est supposée adiabatique. Calculer la pression p_2 , la température T_2 et le volume V_2 du gaz à la fin de cette compression.

2. A la suite d'échanges thermiques à travers les parois du cylindre, le gaz revient lentement à la température $T_3=T_1$. Déterminer la pression finale p_3 et le volume final V_3 du gaz.

Données : $g=9,81\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Exercice 12 : Mesure expérimentale de γ . Expérience de Rückardt.

On considère un récipient fermé par un piston de masse m , mobile sans frottement dans le col cylindrique vertical de section S .

Le récipient contient n moles d'un gaz parfait dont on cherche à déterminer l'exposant adiabatique γ constant.

A l'extérieur, l'air est à la pression $P_0 = Cte$ et à l'équilibre, le volume intérieur du récipient est V_0 .

1. Déterminer P_e , la valeur de la pression à l'intérieur du récipient quand le piston est à l'équilibre.
2. Le piston est déplacé de sa position d'équilibre, on notera $P = P_e + dP$ la pression dans le récipient à un instant quelconque avec $dP \ll P_e$ et toutes les transformations seront considérées comme adiabatiques et quasistatiques.
 - a. Exprimer dP en fonction de dV puis de z , la position du piston par rapport à sa position d'équilibre. $V \approx V_0$.
 - b. En utilisant le principe fondamental de la dynamique (deuxième loi de Newton), en déduire l'équation du mouvement du piston et la mettre sous la forme $\ddot{z} + \omega_0^2 z = 0$.
 - c. En déduire une méthode pratique de mesure de γ .

