Travaux dirigés - Thermodynamiques

Année universitaire 2026 - 2027

Table des matières

1 Td 1 1

2 Td 2 2

3 Td 3 3

4 Td 4 4

1 Td 1

Exercice 1 Équilibre macroscopique d'un GP

Une bouteille de plongée sous-marine faite en acier, munie d'un détendeur, contient dans un volume $V_i = 60\,\mathrm{L}$ de l'air comprimé (assimilé à un gaz parfait) sous une pression $P_i = 15\,\mathrm{bar}$. En ouvrant le détendeur à la pression atmosphérique voisine de $1\,\mathrm{bar}$, quel volume d'air peut-on extraire à température constante ?

[thermo-0000]

Exercice 2 Pneu qui s'échauffe en roulant

Un pneu de volume supposé constant est gonflé « à froid » à la température $t = 20\,^\circ\mathrm{C}$ sous une pression de $2.1\,\mathrm{bar}$. Après avoir roulé un certain temps, le pneu s'est échauffé et affiche une nouvelle pression de $2.3\,\mathrm{bar}$. Calculer la nouvelle température de l'air dans le pneu ; l'air est considéré comme un gaz parfait.

[thermo-0001]

Exercice 3 Dérivées partielles d'une fonction à trois variables

Trouver toutes les dérivées partielles de la fonction

$$f(x,y,z) = \frac{x^2y^3}{z}.$$

[thermo-0002]

Exercice 4 Différentielle totale

Calculer la différentielle totale de la fonction

$$f(x,y) = x^3e^{5y}.$$

[thermo-0003]

Exercice 5 Film mince d'eau savonneuse

L'équation d'état d'un film mince d'eau savonneuse se met sous la forme suivante :

$$(\sigma - \sigma_0)S = cT,$$

où σ est la tension superficielle de l'eau savonneuse, S la surface de la pellicule, T la température, et c et σ_0 sont deux constantes.

1. Calculer les dérivées partielles suivantes :

$$\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_\sigma, \qquad \left(\frac{\partial \sigma}{\partial S}\right)_T, \qquad \left(\frac{\partial T}{\partial \sigma}\right)_S.$$

2. Faire le produit de ces trois dérivées partielles. Que peut-on remarquer ?

[thermo-0004]

---

2 Td 2

Exercice 6 Travail des forces pressantes

Une mole de gaz réel, d'équation

$$P(V - b) = RT$$

avec R et b constantes, est comprimée très lentement du volume $2V_0$ au volume V_0, à température constante T_0. Exprimer le travail W (de la part des forces pressantes) reçu par le gaz.

[thermo-0005]

Exercice 7 Isotherme et adiabatique

Dans le diagramme de Clapeyron, considérons un point M, représentant l'état d'un gaz parfait, défini par les variables d'état P, V, T. Considérons l'isotherme et l'adiabatique passant par M.

1. Faire un schéma simple de la situation.
2. Déterminer l'équation de l'isotherme, en faisant apparaître une constante C_1.
3. Déterminer l'équation de l'adiabatique, en faisant apparaître une constante C_2.
4. Déterminer la pente de l'isotherme au point M.
5. Déterminer la pente de l'adiabatique au point M.
6. Au point M, est-ce l'isotherme ou l'adiabatique qui a la pente la plus forte ? Quelle est la valeur du rapport des pentes ?

[thermo-0006]

Exercice 8 Travail des forces de pression au cours d'un cycle

Considérons un cycle de forme elliptique simple horizontale, en coordonnées de Clapeyron. Le chemin fermé se parcourt dans le sens trigonométrique ; l'état de départ est noté 1 (sur le point le plus à gauche de l'ellipse), et l'on note un état intermédiaire à mi-chemin. Le cycle est donc formé de la somme des transformations $1 \to 2$ (chemin inférieur) et $2 \to 1$ (chemin supérieur).

1. Faire un schéma simple de la situation.
2. Pour la transformation $1 \to 2$, écrire l'expression du travail W_1 des forces de pression.
3. Représenter $|W_1|$ par l'aire hachurée en traits horizontaux sous la courbe inférieure $1 \to 2$. Le travail W_1 est-il négatif ou positif ?

4. Pour la transformation $2 \to 1$, écrire l'expression du travail W_2 des forces de pression.
5. Représenter $|W_2|$ par l'aire hachurée en traits obliques sous la courbe supérieure $2 \to 1$. Le travail W_2 est-il positif ou négatif ?
6. Donner l'expression du travail total W en fonction de W_1 et W_2.
7. Par quoi est représenté $|W|$? Est-il positif ou négatif ?

Concept important à retenir : la valeur absolue du travail effectué au cours d'un cycle est égale à l'aire du cycle représenté en coordonnées de Clapeyron. Si le cycle est parcouru dans le sens trigonométrique, le travail est positif (absorbé par le système) ; s'il est parcouru dans le sens des aiguilles d'une montre, le travail est négatif (cédé par le système).

[thermo-0007]

Exercice 9 Travail reçu par un GP au cours d'une transformation isotherme réversible

Considérons une transformation isotherme réversible à la température T de l'état (P_0, V_0) à l'état (P_1, V_1). Déterminer l'expression littérale du travail reçu par n moles de ce gaz lors de cette transformation, en fonction de n, R, T, V_1, V_0, puis en fonction de n, R, T, P_1, P_0. Si la transformation est une compression isotherme, le travail est-il reçu ou cédé par le gaz ? Déterminer l'expression de la chaleur Q reçue ou donnée par le gaz ?

[thermo-0008]

Exercice 10 Variation d'énergie interne et d'enthalpie

1. À volume constant, démontrer que $Q_V = \Delta U$.
2. À pression constante, démontrer la relation de l'enthalpie $H = U + PV$ et démontrer de deux façons que $Q_P = \Delta H$.

[thermo-0009]

---

3 Td 3

Exercice 11 Travail reçu par un GP au cours d'une transformation adiabatique réversible

Considérons une transformation adiabatique réversible de l'état (P_0, V_0, T_0) à l'état (P_1, V_1, T_1). Déterminer l'expression littérale du travail reçu par le gaz lors de cette transformation, en fonction de n, R, γ, T_1, T_0.

[thermo-0010]

Exercice 12 Dessiner des isothermes. Rapport des capacités calorifiques γ. Équations de Laplace

Considérons un système constitué de n moles de gaz parfait subissant une transformation quasi-statique adiabatique élémentaire de l'état (P, V, T) à l'état $(P + \mathrm{d}P, V + \mathrm{d}V, T + \mathrm{d}T)$ avec $\mathrm{d}P > 0$.

1. En coordonnées de Clapeyron, même sans connaître l'équation de la courbe représentant une adiabatique, tracer les isothermes à T et à $T + \mathrm{d}T$. L'état initial est représenté par un point A de l'isotherme T et l'état final par un point A' de l'isotherme $T + \mathrm{d}T$. Comme U est une fonction d'état indépendante du chemin suivi, on peut aussi dessiner un point intermédiaire A'' à la suite d'une transformation isochore. On peut donc raisonner sur deux chemins possibles : AA' et $AA''A'$.
2. Sur le chemin direct AA', déterminer l'expression de $\mathrm{d}U$ à l'aide du premier principe élémentaire.
3. Sur le chemin AA'' isochore, déterminer l'expression de la variation d'énergie interne $\mathrm{d}U_{A \to A''}$.
4. Sur le chemin $A''A'$ isotherme, déterminer l'expression de la variation d'énergie interne $\mathrm{d}U_{A'' \to A'}$.

5. À partir des trois questions précédentes, déterminer l'expression littérale de $\mathrm{d}T$ en fonction de P, $\mathrm{d}V$, n et C_V.

6. Différencier l'équation d'état du gaz parfait en considérant qu'aucune des trois variables n'est fixe au cours de la transformation. En reportant le résultat de la question 5 et à l'aide de la relation de Mayer, trouver :

$$\frac{C_P}{C_V} P\,\mathrm{d}V + V\,\mathrm{d}P = 0.$$

7. Le rapport C_P/C_V est appelé « coefficient adiabatique » ou « coefficient de Laplace » et est noté γ. Pour un gaz parfait monoatomique $\gamma = 5/3$; pour un gaz parfait diatomique $\gamma = 7/5 = 1{,}4$. Si l'on envisage une transformation adiabatique finie de l'état initial (P_1, V_1, T_1) à l'état final (P_2, V_2, T_2), et en partant du résultat de la question 6, démontrer l'équation de Laplace :

$$PV^\gamma = \text{cste}.$$

Cette relation donne l'équation de la courbe représentant une adiabatique en coordonnées de Clapeyron, qui relie les points A et A'.

8. À l'aide de la première équation de Laplace, démontrer les deux autres équations :

$$T^\gamma P^{1-\gamma} = \text{cste}, \qquad TV^{\gamma-1} = \text{cste}.$$

[thermo-0011]

---

4 Td 4

Exercice 13

Calculer la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température de une tonne d'eau de 20°C à 80°C. Si cette énergie servait intégralement à soulever cette même masse d'eau d'une hauteur h, quelle serait l'altitude atteinte ? Données : $c_{\text{eau}} = 4180\ \text{J.kg}^{-1}.^\circ\text{C}^{-1}; g = 10\ \text{N.kg}^{-1}$.

[thermo-0012]

Exercice 14

Dans un radiateur, l'eau circulant dans les tuvaux entre à la température de 70°C et en ressort à la température de 35 °C. Le débit est de $2\ell.\text{min}^{-1}$.

1. Calculer la quantité de chaleur Q cédée, chaque minute, par l'eau au milieu extérieur. On donne : $c_{\text{eau}} = 4{,}180\ \text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

2. En déduire la puissance thermique reçue par le milieu extérieur.

[thermo-0013]

Exercice 15

On introduit 100 g d'eau à 20°C dans un congélateur dont la température est maintenue à -15 °C. On obtient un bloc de glace à -15°C. Quelle est la quantité de chaleur que le congélateur doit évacuer ? On donne : chaleur massique de l'eau liquide : $4180\text{J. kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$: chaleur massique de la glace : $2100\ \text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$; chaleur latente de fusion de la glace : 335kJ.kg^{-1}.

[thermo-0014]

Étudiant(e) (Nom, Prénom) : .....

Promotion, groupe : .....

Email : .....