Vrai / Faux

1. L'entropie créee au cours d'une transformation est nécessairement ≥ 0.

Vrai ❐ Faux ❐

2. Dans le cas d'une transformation réversible, $S_{\text{éch}} = 0$.

Vrai ❐ Faux ❐

3. La loi de Laplace en coordonnées (T, V) s'écrit $T^{\gamma}V^{\gamma-1} = \text{cste}$.

Vrai ❐ Faux ❐

4. La variation d'entropie au cours d'une transformation dépend du chemin suivi.

Vrai ❐ Faux ❐

5. L'entropie a la même unité que l'enthalpie.

Vrai ❐ Faux ❐

Pour bien démarrer

Données pour tous les exercices :

▷ Variation d'entropie d'un système condensé de capacité thermique C:

$$\Delta S C \ln \frac{T}{T_0}$$

▷ Variation d'entropie d'un gaz parfait :

$$\begin{aligned}\Delta S &= \frac{nR}{\gamma-1}\ln\frac{T}{T_0} + nR\ln\frac{V}{V_0}\\ &= \frac{\gamma nR}{\gamma-1}\ln\frac{T}{T_0} - nR\ln\frac{P}{P_0}\\ &= \frac{nR}{\gamma-1}\ln\frac{P}{P_0} + \frac{\gamma nR}{\gamma-1}\ln\frac{V}{V_0}\end{aligned}$$

Exercice n°1 - Contact thermique entre deux solides (★)

Deux solides de capacités thermiques respectives C_1 et C_2 et de températures initiales T_{i1} et T_{i2} sont mis en contact. Des parois rigides calorifugées isolent l'ensemble de l'extérieur.

1. Déterminer la température finale T_f.
2. Calculer la variation d'entropie du système global et calculer l'entropie crée au cours de la transformation.

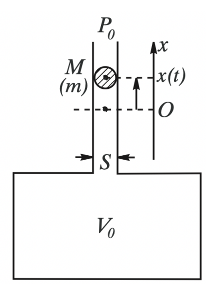
Exercices essentiels

Exercice n°2 - Effet Joule (★★)

Considérons une masse $m = 100$ g d'eau dans laquelle plonge un conducteur de résistance $R = 20\ \Omega$. L'ensemble forme un système noté Σ, de température initiale $T_0 = 20$ °C. On impose au travers de la résistance, de capacité thermique C_R, un courant $I = 1$ A pendant une durée $\tau = 10$ s. L'énergie électrique dissipée dans la résistance peut être traitée du point de vue de la thermodynamique comme un transfert thermique $Q_{\text{élec}}$ reçu par Σ.

1. La température de l'ensemble est maintenue constante. Quelle est la variation d'entropie du système Σ ? En déduire l'entropie créee.
2. Commenter le signe de l'entropie créée. Que peut-on en déduire à propos du signe d'une résistance ?
3. Le même courant passe dans le même conducteur pendant la même durée, mais cette fois $\mathcal{S}$ est isolé thermiquement. Calculer sa variation d'entropie et l'entropie créee.

Exercice n°3 - Expérience de Rüchardt (★★)



On considère l'expérience ci-contre, dont l'objectif est d'obtenir une mesure de l'indice adiabatique d'un gaz. Pour cela, un récipient contient un gaz et est fermé par une bille pouvant glisser librement. On note pour le gaz du récipient, à l'équilibre (lorsque la bille est immobile) : V_0 le volume, T_0 la température, et P_0 la pression. On suppose la masse m de la bille assez faible pour avoir à l'équilibre une pression identique à l'intérieur et à l'extérieur, qu'on note p_0. On déplace initialement la bille de sa position d'équilibre : elle oscille.

1. Les oscillations sont assez rapides. Quelles hypothèses peut-on faire sur la transformation subie par le gaz pendant quelques oscillations ?

2. Déterminer l'équation différentielle suivie par la position x de la bille pour des oscillations de petite amplitude. En déduire l'expression de la période T des oscillations.

3. Proposer alors une méthode permettant de mesurer le coefficient adiabatique γ du gaz.

Données : développement limité $(1+\epsilon)^{\alpha} \approx 1 + \alpha\epsilon$ si $|\epsilon| \ll 1$.

Exercice n°4 - La possibilité d'un cycle (★★)

On raisonne sur une quantité de matière $n = 1$ mol de gaz parfait qui subit la succession de transformations (idéalisées) suivantes :

- ▷ A → B : détente isotherme de $P_A = 2$ bar et $T_A = 300$ K jusqu'à $P_B = 1$ bar en restant en contact avec un thermostat de température $T_0 = T_A$;
- ▷ B → C : évolution isobare jusqu'à $V_C = 20,5$ L toujours en restant en contact avec le thermostat à T_0 ;
- ▷ C → A : compression adiabatique réversible jusqu'à revenir à l'état A.

Le coefficient isentropique γ est pris égal à 7/5.

1. Représenter ce cycle dans le diagramme de Watt (P, V).

2. À partir du diagramme, déterminer le signe du travail total des forces de pression au cours du cycle. En déduire s'il s'agit d'un cycle moteur ou d'un cycle récepteur.

3. Déterminer l'entropie crée entre A et B. Commenter.

4. Calculer la température en C, le travail W_{BC} et le transfert thermique Q_{BC} reçus par le gaz au cours de la transformation BC. En déduire l'entropie échangée avec le thermostat ainsi que l'entropie crée.

5. Le cycle proposé est-il réalisable ? Le cycle inverse l'est-il ?

Données : $C_R = 8$ J·K^{-1}, $c_{\text{eau}} = 4{,}18$ J·g^{-1}·K^{-1}.

Pour aller plus loin

Exercice n°5 - Masse posée sur un piston (★★)

Considérons une enceinte hermétique, diatherme, fermée par un piston de masse négligeable pouvant coulisser sans frottement. Cette enceinte contient un gaz supposé parfait. Elle est placée dans l'air, à température T_0 et pression P_0.

1. On place une masse m sur le piston. Déterminer les caractéristiques du gaz une fois l'équilibre thermique et mécanique atteint.

2. Déterminer le transfert thermique échangé Q et l'entropie créée.

3. On réalise la même expérience, mais en N étapes successives, par exemple en ajoutant du sable "grain à grain". Déterminer l'entropie créée dans la limite $N \to \infty$.

Éléments de réponse

Vrai / Faux

1. Vrai 2. Faux 3. Faux 4. Faux 5. Faux

Exercice n°1

1. Additivité de l'énergie interne : $\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2$.

   On en déduit $T_f = \dfrac{C_1 T_{i1} + C_2 T_{i2}}{C_1 + C_2}$.

2. On raisonne de même pour l'entropie : $S_{\text{créee}} = S_c = C_1 \ln \dfrac{T_f}{T_{i1}} + C_2 \ln \dfrac{T_f}{T_{i2}}$.

Exercice n°2

1. Second principe : $\Delta S = \Delta S_{\text{eau}} + \Delta S_R$.

   Ainsi, $S_{\text{crée}} = -S_{\text{éch}} = \dfrac{Q}{T} = \dfrac{RI^2\tau}{T} = 0,68\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}$.

2. $S_{\text{crée}} > 0$ donc $R > 0$.

3. $\Delta S = S_{\text{créee}} = (C_R + mc_{\text{eau}}) \ln \left(1 + \dfrac{RI^2\tau}{(C_R + mc_{\text{eau}})T_i}\right) = 6,8\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}$.

Exercice n°3

1. Hypothèses : adiabatique, réversible, gaz parfait. On peut donc utiliser la loi de Laplace.

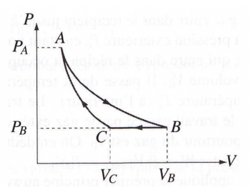
2. Volume $V = V_0 + Sx$. Loi de Laplace : $p = p_0 \left(1 + \dfrac{Sx}{V_0}\right)^{-\gamma}$.

   PFD appliqué à la bille : $\ddot{x} + \dfrac{\gamma p_0 S^2}{mV_0} = 0$.

   Ainsi, $T_0 = \dfrac{2\pi}{\omega_0} = \dfrac{2\pi}{S}\sqrt{\dfrac{mV_0}{\gamma p_0}}$.

Exercice n°4

1.



2. Il s'agit d'un moteur.

3. On a : $\Delta S_{AB} = nR \ln(P_B/P_A)$. On exprime également $S_{\text{éch}} = Q_{AB}/T_0$, avec Q_{AB} exprimé grâce au premier principe.

   On trouve $\Delta S_{AB} = S_{\text{éch}}$ donc $S_{\text{crée}} = 0$: transformation réversible.

4. $W_{BC} = -P_B(V_C - V_B) = 4,4.10^2\text{J}$.

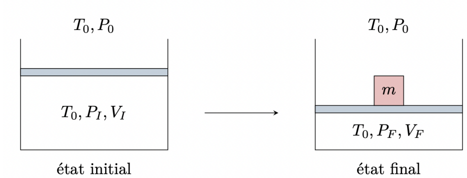
   $$Q_{BC} = \Delta H_{BC} = C_p(T_C - T_B) \quad \text{d'où} \quad Q_{BC} = \frac{\gamma nR}{\gamma - 1}(T_C - T_B) = -1,6\text{kJ}.$$

   $$S_{e,BC} = \frac{Q_{BC}}{T_0} = -5,2\text{J/K donc } S_{c,BC} = \Delta S_{BC} - S_{e,BC} = -0,5\text{J/K} > 0.$$

5. $S_{\text{crée}} > 0$: impossible. La transformation inverse peut par contre être réalisée.

Exercice n°5

1.



   Enceinte diatherme : $T_F = T_0$; équilibre mécanique atteint : $P_F = P_0 + \dfrac{mg}{S}$; équation d'état des gaz parfaits : $V_F = \dfrac{nRT_0}{P_0 + \frac{mg}{S}}$.

2. Travail des forces de pression : $W = -\left(P_0 + \dfrac{mg}{S}\right)(V_F - V_I)$.

   Premier principe : $\Delta U = W + Q = 0$. On réexploite les expressions de la première question.

   On en déduit $Q = -\dfrac{nRT_0 mg}{P_0 S}$.

3. Second principe : $\Delta S = S_{\text{cr}} + \frac{Q}{T_0} = \dfrac{\gamma nR}{\gamma - 1} \ln \dfrac{T_F}{T_0} - nR \ln \dfrac{P_F}{P_0}$.

   On en déduit $S_{\text{cr}} = nR \left(\dfrac{mg}{P_0 S} - \ln\left(1 + \dfrac{mg}{P_0 S}\right)\right)$.

4. Dans la limite $N \to +\infty$, on ajoute une masse m/N à chaque étape.

   Développement limité : $S_{\text{cr}} = \dfrac{nR}{2N}\left(\dfrac{mg}{P_0 S}\right) \xrightarrow{N\to\infty} 0$: transformation réversible.