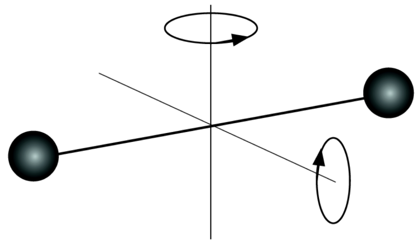
27 mars 2025

Série 6 : Transitions de phase, premier principe de la thermodynamique

Exercice 1: Gaz parfait de molécules diatomique (*Niveau 2-3*)

On considère une molécule diatomique rigide constituée de deux atomes, chacun de masse m, à distance fixe d l'un de l'autre. L'énergie cinétique de la molécule est constituée de l'énergie cinétique de translation du centre de masse et de l'énergie cinétique de rotation autour de deux axes perpendiculaires à l'axe interatomique (voir la figure ci-contre).



(a) Une mole de gaz diatomique, assimilé à un gaz parfait, est contenue dans une enceinte à volume constant. On augmente la température du gaz de T à $T + \Delta T$. Pour quelle valeur de ΔT l'énergie interne du gaz augmente-t-elle de 100 J ?

(b) Calculer la vitesse de rotation quadratique moyenne ($\langle\omega^2\rangle$) pour une mole de gaz de diazote N_2 à température $T = 300\,\text{K}$ ($m_N = 2,3 \cdot 10^{-26}$ kg, $d_{N_2} = 3 \cdot 10^{-10}$ m). On considère que les rotations selon les deux axes sont indépendantes et que la vitesse de rotation moyenne est $\langle\omega\rangle$. On rappelle que la constante de Boltzmann vaut $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K.

Solution:

(a) $\Delta T = 4,8\,\mathrm{K}$.

(b) $\langle\omega^2\rangle \approx 4 \cdot 10^{24}\,\mathrm{rad}^2\,\mathrm{s}^{-2}$.

Exercice 2: Relation de Mayer pour un gaz parfait selon le premier principe (*Niveau 1-2*)

On considère deux états différents A et B d'un gaz parfait à la même température. On passe de A à B en effectuant d'abord une isochore puis une isobare.

(a) Dessiner les transformations sur un diagramme p-V.

(b) Écrire le premier principe pour la transformation de A à B.

(c) En déduire la relation de Mayer pour un gaz parfait.

Solution:

(a)

(b)

(c) $(C_p - C_V) = \frac{nRT - nRT_C}{T - T_C} = nR$

Exercice 3: Vapeur d'eau (*Niveau 2*)

La chaleur latente de vaporisation de l'eau vaut $L_v = 2.26 \times 10^6\,\mathrm{J\,kg^{-1}}$ à pression atmosphérique. L'eau, à l'état gazeux, a une densité bien inférieure qu'à l'état liquide.

(a) Pour une masse d'eau m, quel pourcentage de l'énergie nécessaire pour vaporiser l'eau est utilisé pour effectuer le travail d'expansion (augmentation de volume) de la vapeur ainsi créée?

(b) Où va la chaleur restante ?

Indications: À $T = 100\,°\text{C}$ et $p = 1$ atm, les densités de l'eau et de la vapeur sont respectivement $\rho_{\text{eau}} = 10^3\ \text{kg}\,\text{m}^{-3}$ et $\rho_{\text{vapeur}} = 0.6\ \text{kg}\,\text{m}^{-3}$. On suppose que la dilatation de l'eau lors de sa vaporisation est un processus isobare.

Solution:

(a) $\eta \simeq 7.5\%$

(b) Pour 1 kilogramme, $\Delta U = 2.09 \times 10^6$ J

Exercice 4: Surfusion de l'eau (*Niveau 2*)

Le phénomène de surfusion de l'eau intervient lorsque l'eau reste liquide alors qu'elle est aux conditions de température et de pression pour être solide. Cela arrive lorsque la solidification est retardée car il n'y a pas de germe de glace ou d'impureté pour servir de point de démarrage. Dans ce cas, il suffit d'introduire un microscopique morceau de glace (germe) dans l'eau liquide, et la solidification se fait instantanément.

On considère une masse $m = 1$ kg d'eau en surfusion (donc liquide) à la pression atmosphérique et à la température de 268 K. On introduit un germe de glace de masse négligeable. On suppose dans la suite que le système est isolé.

(a) Toute l'eau est-elle convertie en glace ou en reste-t-il une partie à l'état liquide?

(b) Dans le premier cas, calculer la température finale de la glace; dans le deuxième cas, calculer la masse de glace. On donnera la formule analytique ainsi que l'évaluation numérique.

Conseil:, entrainez-vous à faire les calculs d'ordre de grandeur sans calculatrice avec les valeurs arrondies données dans les ennoncés.

On prendra les valeurs suivantes pour les capacités calorifiques de l'eau et de la glace et pour la chaleur latente de fusion: $c^*_{\text{eau}} = 4kJ \cdot K^{-1} \cdot kg$, $c^*_{\text{glace}} = 2kJ \cdot K^{-1} \cdot kg$ et $L_{fus} = \frac{1000}{3} kJ \cdot K^{-1} \cdot kg$.

Solution:

(a) Toute l'eau n'est pas transformée en glace

(b) $m_g = 0.06kg$