Université de Bourgogne
L2 ST – Semestre 2
2020–2021

Département de Physique
Physique – Phys4B
Thermodynamique Physique

Seconde session de Juin 2021 – Durée 2 heures

EPREUVE SANS DOCUMENTS, LES CALCULATRICES SONT AUTORISÉES
LES DEUX EXERCICES SONT INDÉPENDANTS

I – Cycle réversible d'un gaz parfait

Une mole de gaz parfait diatomique se trouve dans l'état A ($P_A = P_0 = 101325$ Pa, $T_A = T_0 = 273.15$ K). Ce gaz parfait décrit un cycle constitué de quatre transformations réversibles.

(a) **Compression adiabatique** de l'état A (P_A, V_A, T_A) à l'état B ($P_B = 10P_A$, V_B, T_B). On pose $\alpha = P_B/P_A = 10$, le rapport de compression.

(b) **Chauffage isobare** de l'état B (P_B, V_B, T_B) à l'état C ($P_C = P_B$, V_C, $T_C = 4T_B$).

(c) **Détente isotherme** de l'état C (P_C, V_C, T_C) à l'état D ($P_D = P_A$, V_D, $T_D = T_C$).

(d) **Refroidissement isobare** de l'état D ($P_D = P_A$, V_D, T_D) à l'état A (P_A, V_A, T_A)

On donne la constante des gaz parfaits, $R = 8.314$ J.mol^{-1}.K^{-1}. On note C_p et C_v les capacités calorifiques molaires du gaz à pression et volume constant, respectivement. On pose $\gamma = C_p/C_v = 7/5$.

I.1 – Rappeler, sans démonstration, la loi de Laplace en coordonnées P, V pour une transformation adiabatique réversible d'un gaz parfait. En déduire les autres lois en coordonnées P, T et V, T.

I.2 – Enoncer les première et seconde lois de Joule pour les gaz parfaits.

I.3 – Dans ce qui suit, on donnera les expressions littérales des résultats en fonction de P_0, V_0, T_0, R, α et γ exclusivement. On calculera à la suite les valeurs numériques correspondantes.
(i) Déterminer toutes les variables d'état (pressions, volumes et températures) pour les états A, B, C et D.
(ii) Pour chacune des transformations (a), (b), (c) et (d), trouver la variation d'énergie interne ΔU_i, la quantité de travail W_i et la quantité de chaleur Q_i échangées entre le gaz et le milieu extérieur, l'indice i prenant les valeurs a, b, c ou d.

I.4 – En déduire la variation d'énergie interne ΔU_{cycle} pour le cycle complet. Ce résultat est-il cohérent ?

I.5 – **(i)** De quel type de cycle s'agit-il ? Justifier la réponse. **(ii)** Définir et calculer le rendement ρ, ou l'efficacité η, selon le type, du cycle.

I.6 – **(i)** Pour chacune des quatre transformations (a), (b), (c) et (d) du cycle, indiquer quelles sont les fonctions analytiques $P = P(V)$ correspondantes. **(ii)** Représenter l'allure du cycle dans un diagramme de Clapeyron. **(iii)** Que représente l'aire du cycle dans les coordonnées du diagramme ?

II – Equilibre liquide-vapeur

Question de cours – Représenter, en introduisant des notations et légendes adaptées, l'allure du diagramme des phases liquide-vapeur d'un fluide en coordonnées P (pression) et u (volume massique). Ajouter l'allure d'une courbe isotherme à la température T, qui correspond à une pression de vapeur saturante $P_s(T)$ et à des volumes massiques des phases u_l et u_v.

Compression isotherme de SF_6 – Une enceinte munie d'un piston contient de l'hexafluorure de soufre, SF_6. Le système est maintenu à la température ambiante, constante, $\theta_0 = 25$ °C.

Dans l'état initial, le fluide est gazeux. Dans cet état, le volume du fluide est $V_i = 2.0$ cm^3 et la pression est $P_i = 17 \times 10^5$ Pa. On considérera que la vapeur sèche de SF_6 se comporte comme un gaz parfait.

On comprime de façon isotherme et réversible le fluide jusqu'à un volume final $V_f = V_i/4 = 0.5$ cm^3.

Les données des questions qui suivent sont **(a)** la constante des gaz parfaits, $R = 8.314$ J.mol^{-1}.K^{-1}, **(b)** le point critique de SF_6, $P_c = 38 \times 10^5$ Pa et $\theta_c = 45.5$ °C, **(c)** la masse volumique au point critique, $\rho_c = 742.297$ kg.m^{-3} **(d)** le volume massique de la vapeur saturante à θ_0, $u_v = 5.10 \times 10^{-3}$ m^3.kg^{-1}, **(e)** le volume massique du liquide à θ_0, $u_l = 1.25 \times 10^{-3}$ m^3.kg^{-1}, **(f)** la pression de vapeur saturante à θ_0, $P_s = 26 \times 10^5$ Pa, **(g)** la chaleur latente de vaporisation à θ_0, $L_{\text{vap}} = 57.4$ kJ.kg^{-1} et **(h)** les masses molaires atomiques, $M_S = 32$ g.mol^{-1} et $M_F = 19$ g.mol^{-1}.

II.1 – **(i)** Déterminer la masse m de fluide contenue dans l'enceinte.
(ii) En déduire les volumes massiques du fluide v_i (resp. v_f) dans les états initial (resp. final) de la compression.

II.2 – **(i)** Compte tenu des valeurs numériques, décrire qualitativement l'évolution du fluide.
(ii) Représenter, à l'échelle, la transformation du fluide en coordonnées de Clapeyron P (pression) et u (volume massique). Ajouter sur le diagramme les notations et les légendes qui conviennent.

II.3 – **(i)** On note m_l (resp. m_v) la masse de liquide (resp. vapeur) dans l'état final. Déterminer les expressions de ces masses.
(ii) Faire les applications numériques et en déduire la valeur de $x = m_v/m$, le titre en vapeur du fluide dans l'état final.

II.4 – Déterminer la pente α_{vap} de la courbe de vaporisation de SF_6, à θ_0, et sous la pression P_s, en Pa.K^{-1}. Faire l'application numérique.

Numéro d'anonymat : ____________________