Université Ibn Zohr
Faculté Polydisciplinaire
Ouarzazate, Maroc

جامعة ابن زهر
الكلية متعددة التخصصات
ورزازات، المغرب

Travaux Dirigés de Thermodynamique II*
Proposés par : H. Chaib
Filière : SMP, **Semestre** : 3, **Année** : 2018/2019, **Série** : 04

Exercice 1

On considère une machine thermique qui fonctionne selon un cycle thermodynamique constitué d'une compression isochore suivie d'une compression isobare puis d'une détente isotherme. Les pressions extrêmes de ce cycle sont 2 bar et 20 bar. En revanche, ses volumes extrêmes sont $1\,\mathrm{dm^3}$ et $9{,}5\,\mathrm{dm^3}$. Le cycle, qui utilise une quantité de matière n d'un gaz réel, est parcouru depuis l'état le plus comprimé (1) en passant successivement par les états (2) et (3) et en revenant à l'état (1). Le gaz utilisé est caractérisé par les coefficients thermoélastiques $\alpha = \frac{nR}{pV}$ et $\beta = \frac{nR}{p(V-nb)}$ où R est la constante universelle des gaz parfaits et b est une constante positive. L'expression de l'énergie interne de ce gaz est similaire à celle d'un gaz parfait polyatomique, c.-à-d. $U(T) = \frac{6}{2}nRT$.

1. Représenter ce cycle sur le diagramme de Clapeyron.
2. S'agit il d'une machine thermo-dynamique ou bien d'une machine dynamo-thermique ? Justifier.
3. Déterminer les pressions et les volumes des différents états.
4. En partant de la différentielle de la variable d'état T, qui est une fonction des variables indépendantes p et V, trouver l'équation d'état de ce gaz.
5. Calculer la valeur de la quantité nb.
6. Calculer les travaux et les quantités de chaleur mis en jeu :
   (a) au cours de la détente isotherme.
   (b) au cours de la compression isochore.
   (c) au cours de la compression isobare.
7. Calculer, pour cette machine, l'efficacité thermique :
   (a) η correspondant à son utilisation comme système de refroidissement.
   (b) η' correspondant à son utilisation comme système de chauffage.

Exercice 2

D'une manière générale, pour un système thermodynamique sous une seule phase, la quantité de chaleur δQ échangée lors d'une transformation infinitésimale réversible pouvait s'exprimer en fonction des couples de variables (V, T) et (p, T) de la manière suivante :

$$\delta Q = C_\mathrm{V}\,\mathrm{d}T + l\,\mathrm{d}V = C_\mathrm{p}\,\mathrm{d}T + h\,\mathrm{d}p$$

*La version électronique de ces travaux dirigés et des épreuves relatives à la même matière sont disponibles, avec leurs corrections, sur le site Web : http://www.fpo.ma/chaib/teaching/.

où C_V, C_p, l et h sont des coefficients calorimétriques qui s'appellent, respectivement, capacité thermique isochore, capacité thermique isobare, chaleur latente de dilatation et chaleur latente de compression.

1. Déterminer les variables naturelles de l'énergie interne U, de l'enthalpie H, de l'énergie libre F et de l'enthalpie libre G.
2. Le présent système est un système bivariant. Expliquer pourquoi.
3. Trouver la relation de Maxwell relative à chacun des potentiels thermodynamiques cités ci-dessus.
4. Démontrer la première et la deuxième relation de Clapeyron.
5. Démontrer la relation de Mayer.
6. Exprimer les chaleurs latentes l et h en fonction du volume V, des coefficients thermoélastiques α et χ_T et de la quantité $C_\mathrm{p} - C_\mathrm{V}$.
7. Exprimer $C_\mathrm{p} - C_\mathrm{V}$ en fonction de la température T, du volume V et des coefficients thermoélastiques α et χ_T.
8. Étudier le signe de $C_\mathrm{p} - C_\mathrm{V}$, sachant que $\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T$ est négatif pour tous les corps qu'on connait.
9. Exprimer C_V et C_p en fonction de l'indice adiabatique γ, de la température T, du volume V et des coefficients thermoélastiques α et χ_T.
10. Démontrer la formule de Reech.

On dispose d'un système thermodynamique de volume $V = 5 \times 10^{-4}\,\mathrm{m}^3$ et de coefficients thermoélastiques $\alpha = 4 \times 10^{-5}\,\mathrm{K}^{-1}$, $\chi_\mathrm{T} = 8 \times 10^{-12}\,\mathrm{Pa}^{-1}$ et $\chi_\mathrm{S} = 7 \times 10^{-12}\,\mathrm{Pa}^{-1}$. Ce système se trouve sous une pression $p = 10^5\,\mathrm{Pa}$ et une température $T = 25\,°\mathrm{C}$.

11. Calculer, pour ce système, les coefficients calorimétriques C_V, C_p, l et h.

Exercice 3

L'énergie interne d'un système thermodynamique s'exprime en fonction de la température T et du volume V par $U(T, V) = aTV^b$ où a et b sont des constantes positives non nulles.

1. S'agit il d'un gaz parfait ? Justifier.
2. Déterminer l'expression de la capacité calorifique à volume constant C_V de ce système.
3. Déterminer l'expression de la forme différentielle $\mathrm{d}U$ pour ce système.

Exercice 4

On considère un gaz semi-parfait qui subit une transformation isobare de l'état (1) à l'état (2) dans un système fermé. La capacité calorifique à pression constante C_p du gaz dépend de la température selon l'équation $C_\mathrm{p} = \alpha T + \beta$, où α et β sont des constantes. Exprimer la variation d'entropie ΔS_{12} de cette transformation en fonction de α, β, T_1 et T_2.