Thermodynamique - juin 2011 - session 2

L2 - physique - Université Paul Sabatier

Tout document interdit - Calculatrice UPS autorisée - Durée 2h

Exercice 1:

On se propose de faire subir une succession de transformations à 10 g d'air que l'on considérera comme un gaz parfait de masse molaire $M = 29 \text{ g.mol}^{-1}$ et dont le rapport γ des capacités thermiques à pression et à volume constants est égal à 1,4. Pour réaliser ces transformations, on dispose de deux sources de chaleur respectivement à $T_1 = -13^\circ\text{C}$ et $T_2 = 27^\circ\text{C}$. Dans tout l'exercice, la pression ambiante régnant autour du récipient contenant l'air est la pression atmosphérique $p_{atm} = 10^5 \text{ Pa}$. On donne la constante des gaz parfaits $R = 8,315 \text{ J.mol}^{-1}.K^{-1}$ et l'accélération de la pesanteur $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$.

1. A l'état initial noté A , l'air est contenu dans un cylindre vertical dont les parois sont indéformables et perméables aux transferts de chaleur. Ce cylindre est fermé par un piston de surface $\Sigma = 0,05 \text{ m}^2$, de masse négligeable, mobile sans frottement. Les capacités thermiques du cylindre et du piston seront supposées négligeables.
L'ensemble est placé au contact de la source à T_1 . On isole thermiquement le cylindre et le piston, et on vient déposer, une à une, des petites masses sur le piston jusqu'à ce que la température de l'air devienne égale à T_2 . L'état final sera noté B .
 - (a) Quelle est la nature de la transformation $A \rightarrow B$?
 - (b) Déterminer la pression et le volume de l'air à l'état final B .
 - (c) En déduire la masse totale qui a été déposée sur le piston.
 - (d) Calculer l'énergie reçue par l'air sous forme mécanique au cours de la transformation $A \rightarrow B$.
 - (e) Quelle est la part de ce travail fournie par les petites masses ?
2. L'air étant dans l'état B , on place l'ensemble dans le thermostat à T_2 et on supprime le calorifuge. On continue alors de déposer des petites masses, une à une, jusqu'à ce que la pression de l'air soit doublée: $p_C = 2p_B$ (l'état final est noté C).
 - (a) Quelle est la nature de la transformation $B \rightarrow C$?
 - (b) Déterminer les valeurs de la température et du volume à l'état C .
 - (c) Calculer l'énergie reçue sous forme mécanique au cours de la transformation $B \rightarrow C$.
3. L'air étant dans l'état C , on replace le calorifuge sur les parois du piston et du cylindre. On enlève alors, une à une, des petites masses jusqu'à ce que la température de l'air devienne égale à T_1 .
 - (a) Calculer la pression et le volume à l'état final noté D .
 - (b) Calculer l'énergie reçue sous forme mécanique au cours de la transformation $C \rightarrow D$.
4. L'air étant dans l'état D , on place l'ensemble dans le thermostat à T_1 et on supprime le calorifuge. On enlève une à une toutes les petites masses encore présentes sur le piston.
 - (a) Déterminer la pression, le volume et la température à l'état final noté E .
 - (b) Calculer l'énergie reçue sous forme mécanique au cours de la transformation $D \rightarrow E$.
5. Représenter schématiquement ces 4 transformations sur un diagramme de Clapeyron (p, V). Faire apparaître la somme de tous les travaux sur ce même diagramme.

6. Calculer les quantités de chaleur reçues par l'air au cours des transformations $B \rightarrow C$ et $D \rightarrow E$.
7. Déterminer l'expression du rapport entre $Q_{B \rightarrow C}$ et $Q_{D \rightarrow E}$ en fonction de T_1 et T_2 uniquement.
8. Quelle(s) application(s) pourrait-on donner à cette succession de transformations ?

Exercice 2

1. Rappeler la relation de Clapeyron pour la chaleur latente de vaporisation, en indiquant les unités des différents termes.
2. Déterminer la température de saturation de l'eau au sommet du Mont Blanc où la pression est de 44000 Pa en considérant les hypothèses suivantes:
 - à $p_{ref} = 10^5 \text{ Pa}$, la température de saturation est $T_{ref} = 373 \text{ K}$
 - le volume massique du liquide est négligeable devant celui de la vapeur
 - la vapeur peut être considérée comme un gaz parfait de constante massique $r = 462 \text{ J.kg}^{-1}.K^{-1}$
 - la chaleur latente ℓ_v est constante (indépendante de la température): $\ell_v = 2240 \text{ kJ.kg}^{-1}$

Exercice 3: Les hypothèses et données énoncées dans l'exercice 2 restent valables.

Données et hypothèses supplémentaires:

- volume massique de l'eau sous forme liquide (supposé constant): $v_\ell = 10^{-3} \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$
- capacité calorifique massique de l'eau liquide (supposée constante): $c_\ell = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.K^{-1}$
- capacité calorifique massique à pression constante de la vapeur d'eau (supposée constante): $c_p = 1616 \text{ J.kg}^{-1}.K^{-1}$

1. Un kg d'eau sous forme de vapeur est à l'équilibre (noté 1) à la température $T_1 = 373 \text{ K}$ et à la pression $p_1 = 10^5 \text{ Pa}$. Déterminer le volume occupé par la vapeur d'eau dans l'état 1.
2. On fait subir à l'eau une augmentation de pression isochore jusqu'à atteindre la pression $p_2 = 2.10^5 \text{ Pa}$.
 - (a) Dans quel état (phase) se trouve l'eau à l'état 2 ?
 - (b) Calculer la température T_2 de l'eau à l'état 2.
 - (c) En vous aidant de la question de cours, calculer la température de saturation T^* lorsque la pression est égale à p_2 .
3. L'eau étant dans l'état 2, on lui enlève une quantité de chaleur $Q_{2 \rightarrow 3} = -1800 \text{ kJ}$ en maintenant la pression du système constante. L'eau atteint alors un état d'équilibre liquide-vapeur noté 3.
 - (a) Quelle est la température T_3 du mélange liquide-vapeur dans l'état 3 ?
 - (b) Calculer la quantité de chaleur $Q_{2 \rightarrow 2'}$ extraite au fluide au moment où la vapeur commence à se liquéfier.
 - (c) En déduire la valeur du titre massique en vapeur x_3 au point 3.
 - (d) Calculer alors le volume V_3 occupé par le mélange liquide-vapeur dans l'état 3.
 - (e) Calculer l'énergie $W_{2 \rightarrow 3}$ reçue par le fluide sous forme mécanique lors de la transformation $2 \rightarrow 3$.
 - (f) en déduire la variation d'énergie interne ΔU_{23} lors de cette même transformation.