

Thermodynamique - juillet 2009 - session 2

L2 - physique - Université Paul Sabatier

1 Questions de cours: échanges thermiques en régime stationnaire

La structure d'une cabine d'un avion peut être schématiquement représentée comme un mur plan (flux monodimensionnel perpendiculaire à la paroi) composite composé de 3 couches:

- couche 1: habillage plastique intérieur de conductivité thermique $\lambda_1 = 0,11 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ et d'épaisseur $e_1 = 25 \text{ mm}$;
- couche 2: structure centrale (complexe) de conductivité thermique λ_2 inconnue et d'épaisseur $e_2 = 80 \text{ mm}$;
- couche 3: revêtement extérieur de conductivité thermique $\lambda_3 = 2 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ et d'épaisseur $e_3 = 5 \text{ mm}$;

Les températures de parois intérieure et extérieure sont respectivement notées T_{pi} et T_{pe} . T_{pi} vaut 11°C et T_{pe} est inconnue. Les températures ambiantes intérieure et extérieure sont respectivement $T_i = 20^\circ\text{C}$ et $T_e = -50^\circ\text{C}$. Les coefficients d'échange thermique entre ces parois et leurs environnements sont $h_i = 19,2 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ et $h_e = 200 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. La surface totale est $A_{structure} = 15 \text{ m}^2$.

1. Déterminer la valeur du flux de chaleur traversant la structure de l'ensemble composite.
2. En déduire la valeur de la conductivité thermique λ_2 .
3. On considère que le flux de chaleur perdu au travers des vitres est égal à 500 W . Les différentes sources à l'intérieur de la cabine dégagent un flux de chaleur de 2000 W . Quelle puissance de chauffage doit-on prévoir pour maintenir une température de 20°C à l'intérieur de la cabine ?

2 Moteur thermique

On se propose d'étudier un moteur fonctionnant suivant le 2^{ieme} cycle théorique d'Ericsson (1853). Une masse $m = 0,5 \text{ g}$ d'air décrit ce cycle entièrement réversible constitué des transformations suivantes:

- $1 \rightarrow 2$: compression isotherme à $T_1 = 300\text{K}$ qui fait passer la pression de $p_1 = 10^5 \text{ Pa}$ à $p_2 = 20.10^5 \text{ Pa}$;
- $2 \rightarrow 3$: échauffement isobare au cours duquel l'air reçoit une quantité de chaleur $Q_{2 \rightarrow 3} = 150,53 \text{ J}$;
- $3 \rightarrow 4$: détente isotherme au cours de laquelle l'air reçoit une quantité de chaleur $Q_{3 \rightarrow 4} = 257,68 \text{ J}$;
- $4 \rightarrow 1$: refroidissement qui fait passer la température de T_4 à T_1 .

L'air sera assimilé à un gaz parfait ($R = 8,315 \text{ J.mol}^{-1}.K^{-1}$ de masse molaire $M = 29 \text{ g.mol}^{-1}$) dont le rapport des capacités thermiques à pression constante et à volume constant vaut $\gamma = 1,4$.

1. Déterminer les valeurs de la température, de la pression et du volume de l'air aux 4 sommets du cycle.
2. Quelle est la nature de la transformation $4 \rightarrow 1$?
3. Représenter qualitativement le cycle décrit par l'air sur un diagramme de Clapeyron (p,V) et sur un diagramme entropique (T,S).
4. Pour chacune des transformations, déterminer les énergies reçues par l'air sous formes mécanique (travail) et thermique (quantité de chaleur).
5. Calculer la variation d'entropie pour chaque transformation.
6. Quelle est l'efficacité du moteur fonctionnant suivant ce cycle théorique ?
7. Le régime de rotation du moteur est de $2000 \text{ cycles.min}^{-1}$. Calculer la puissance fournie par ce moteur.

3 Modèle de fonctionnement d'une machine frigorifique

On considère une machine frigorifique fonctionnant avec du HFC134a et suivant le cycle de Carnot composé de deux isentropiques et de deux isothermes.

Le fluide est aspiré dans le compresseur à l'état de vapeur saturante (état A) à la pression $p_A = p_1 = 3 \text{ bars}$ et à la température $T_A = 273 \text{ K}$, et refoulé sous forme gazeuse (état B) à la pression p_B en ayant subi une compression isentropique.

Au contact de la source chaude à la température T_c , le fluide cède une quantité de chaleur Q_c par une transformation isotherme réversible jusqu'à atteindre un état de liquide saturé (état D), à la pression $p_D = 5 \text{ bars}$. La capacité thermique massique du liquide est $c_\ell = 1390 \text{ J.kg}^{-1}.K^{-1}$.

Il est alors détendu de manière isentropique jusqu'à l'état E à la pression $p_E = p_1 = 3 \text{ bars}$, puis vaporisé en recevant une quantité de chaleur Q_f au contact de la source froide à température T_f jusqu'à revenir à l'état A.

1. Quelle est la température de la source froide?
2. On assimile la vapeur à un gaz parfait de constante $r = 80 \text{ J.kg}^{-1}.K^{-1}$ et on néglige le volume massique du liquide devant celui de la vapeur. La chaleur latente de vaporisation est supposée constante dans le gamme de température considérée: $\ell_v = 188 \text{ kJ.kg}^{-1}$.
A partir de la relation de Clapeyron intégrée, déterminer la température T_c de la source chaude.
3. Le rapport γ des capacités calorifiques à pression et à volume constants de la vapeur (toujours assimilée à un gaz parfait) est de 1,16. Calculer la pression p_B au point B.
4. Représenter le cycle dans les diagrammes de Clapeyron (p, V) et entropique (T, s)
5. Déterminer la quantité de chaleur Q_c échangée au contact de la source chaude.
6. En déduire la quantité de chaleur Q_f échangée au contact de la source froide, ainsi que l'énergie reçue par le fluide sous forme mécanique au cours d'un cycle.
7. Calculer alors l'efficacité de cette machine frigorifique.