Thermodynamique - mai 2010

L2 - mention physique - Université Paul Sabatier - 2h

document non autorisé - calculatrice autorisée

I Cycle

Un gaz parfait suit un cycle composé d'une succession de 3 transformations : une compression adiabatique réversible $A \rightarrow B$ suivi d'une détente isotherme $B \rightarrow C$ au contact d'une source chaude suivit par un refroidissement isochore $C \rightarrow A$ au contact d'une source froide. On rappelle que le rapport des capacités thermiques à pression et volume constant vaut $\gamma = C_p/C_V$. On prendra $\gamma = 1,4$ et $R=8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ pour la constante des gaz parfaits. L'état A est caractérisé par $T_A=300 \text{ K}$, $V_A=1 \text{ L}$ et $p_A=10^5 \text{ Pa}$. L'état B correspond à $V_B=0,5 \text{ L}$.

1. En déduire le nombre de mole de gaz parfait, la pression p_B , la température T_B et finalement la pression p_C . Effectuer les applications numériques.
2. Tracer sur un diagramme de Clapeyron (ou Watt) le cycle ainsi formé.
3. Montrer pour un gaz parfait que l'expression générale de variation de l'entropie ΔS entre un état initial et un état final se met sous la forme :

$$\Delta S = S_f - S_i = C_V \ln \left(\frac{T_f}{T_i} \right) + nR \ln \left(\frac{V_f}{V_i} \right)$$

4. Dans un tableau, indiquez les échanges énergétiques (chaleur reçue Q , travail reçu W et variation d'énergie interne ΔU) pour la compression adiabatique réversible $A \rightarrow B$, la détente isotherme $B \rightarrow C$ et le refroidissement isochore $C \rightarrow A$ sans effectuer les applications numériques.
5. Pour chaque transformation, indiquer si de l'entropie est produite.
6. Calculer l'efficacité en considérant un cycle moteur. Effectuer l'application numérique. Comparer à l'efficacité de Carnot. Conclure en vous appuyant sur le bilan entropique.

II Pompe à chaleur

Une pompe à chaleur maintient la température interne d'une maison à 27°C alors que la température extérieure est de -3°C . La pompe à chaleur idéale est une machine fonctionnant suivant un cycle de Carnot récepteur. Elle utilise le travail pour assurer des échanges énergétiques d'un thermostat basse température à un thermostat haute température via un fluide circulant dans l'installation. Le transfert thermique fourni par la pompe à chaleur vers la source chaude vaut 100 J .

1. Que vaut le transfert thermique avec la source froide ?
2. Calculer le travail minimum pour effectuer ces transferts thermiques ainsi que l'efficacité de la pompe à chaleur.

III Effet de serre

On étudie l'effet de serre produit par l'interposition d'une vitre de 1 m^2 au dessus d'une plaque noircie et assimilée à un corps noir qui reçoit le rayonnement solaire visible $\varphi_s = 1 \text{ kW.m}^{-2}$, supposé arriver normalement à la plaque. On prendra pour la constante de Stefan : $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$. Il n'y a pas d'autre perte que celles indiquées dans l'énoncé. La géométrie est unidimensionnelle. Le verre est totalement absorbant dans l'infra-rouge et totalement transparent dans le visible. L'air est transparent à tout rayonnement.

1. Calculer la température T_p de la plaque sans la vitre.
2. On tient compte maintenant de l'échange thermique avec l'air caractérisé par un coefficient d'échange conducto-diffusif $h=20 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ et une température loin de la paroi de $T_{air}=300 \text{ K}$. Quelle est la température du corps noir? On pourra si nécessaire effectuer un développement limité de T au voisinage de T_p à l'ordre 1 :

$$T^\alpha = \left(T_p \left(1 + \frac{T - T_p}{T_p} \right) \right)^\alpha = T_p^\alpha + \alpha T_p^{\alpha-1} (T - T_p)$$

3. On interpose la vitre mince entre le corps noir et le soleil. On suppose l'équilibre radiatif atteint entre la plaque noircie et la vitre. Les températures de la plaque noircie et de la vitre sont homogènes. En déduire algébriquement puis numériquement la température de la plaque sans considérer l'air.
4. On tient compte maintenant de l'échange thermique avec l'air toujours caractérisé par un coefficient d'échange conducto-diffusif $h=20 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ avec une température loin de la paroi de $T_{air}=300 \text{ K}$. On ne considère que l'échange convectif entre la surface extérieure de la plaque de verre et l'air extérieur. Quelle est la température atteinte par la vitre? Vous pourrez vous servir si nécessaire du résultat de la question 2. Quelle est la température atteinte par le corps noir (plaque noircie)? (pas d'échange entre la vitre et la plaque noircie autre que radiatif).

IV Températures de rosée et de givre de l'air humide

Dans le domaine de l'étude, la vapeur d'eau et l'air humide se comportent comme des gaz parfaits. La chaleur latente de vaporisation de l'eau est constante et vaut 2500 kJ.kg^{-1} . La chaleur de fusion de la glace est constante et vaut $332,4 \text{ kJ.kg}^{-1}$. Les volumes des phases condensées sont négligeables devant celui de la vapeur. Le point triple de l'eau est caractérisé par $T_t=273,16 \text{ K}$ et $p_t=611 \text{ Pa}$. La masse molaire de l'eau vaut $18,0 \text{ g.mol}^{-1}$. Lors d'un refroidissement isobare d'air humide, on peut observer la formation d'eau liquide (la température est alors égale à la température de rosée) ou de givre (on parle de température de givre). On prendra $R=8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ pour la constante des gaz parfaits.

1. Indiquez à partir du diagramme de phase de l'eau (p,T) dans quelles conditions l'un et l'autre de ces deux phénomènes peut être observé.
2. Etablir l'équation de la courbe de vaporisation de l'eau entre son point triple et T en intégrant la relation de Clapeyron.
3. On souhaite disposer, à $+10 \text{ }^\circ\text{C}$ et sous 1 bar, d'air dont la température de rosée est inférieure à $+2 \text{ }^\circ\text{C}$. Déterminer sa teneur maximale (g.m^{-3} en vapeur d'eau).
4. Une pièce de grand volume contient de l'air à $+10 \text{ }^\circ\text{C}$ dont l'humidité relative est égale à 70% (rapport de la pression partielle en vapeur d'eau sur la pression de saturation). On observe la formation d'eau liquide sur un objet que l'on vient d'introduire dans cette pièce. Que peut-on dire à propos de la température maximale de cet objet?