Physique générale II

Examen du 19 juin 2015

Prof. A. Fasoli

Exercice 1

Une mole de gaz idéal monoatomique suit un cycle thermodynamique constitué par une transformation adiabatique réversible AB ($V_A = 19\,\mathrm{l}$, $T_A = 308\,\mathrm{K}$, $V_B = 9\,\mathrm{l}$) suivie d'une transformation isobare irréversible BC effectuée en maintenant le gaz en contact avec un réservoir à température $T_C = 210\,\mathrm{K}$, suivie d'une isotherme réversible CD ($V_D = 5\,\mathrm{l}$), durant laquelle le gaz reste en contact avec le même réservoir et enfin une détente réversible DA, représentée dans le diagramme $p - V$ par un segment décrit par la relation $p = p_D + \frac{p_A - p_D}{V_A - V_D}(V - V_D)$.

a) Représentez le cycle dans le diagramme $p - V$. S'agit-il d'un cycle moteur ou réfrigérateur ?

b) Calculez la température au point B.

c) Calculez le travail effectué et la chaleur échangée pour chacune des transformations du cycle.

d) Calculez la variation d'entropie du gaz pour la transformation irréversible BC.

e) Calculez la variation d'entropie du gaz pour le cycle complet.

<u>Indications :</u> Constante des gaz parfaits : $R = 8.314\,\mathrm{J\,K^{-1}\,mol^{-1}}$.

Exercice 2

On veut construire un moteur qui fonctionne avec 3 moles d'un gaz parfait diatomique qui parcourt un cycle composé de trois transformations réversibles : une compression adiabatique à partir d'une température $T_A = 30°\mathrm{C}$, une détente isotherme à une température $T_H = 80°\mathrm{C}$ et une compression à pression constante $p_L = 2 \times 10^4\,\mathrm{Pa}$.

a) Représentez ce cycle dans les diagrammes $p - V$, $T - S$ et $p - S$.

b) Calculez la variation d'enthalpie pour chaque transformation en fonction des paramètres T_A, T_H et p_L.

c) Calculez le rendement du moteur et vérifiez qu'il est inférieur à celui qui travaille selon le cycle de Carnot entre les mêmes températures minimale et maximale.

<u>Indications :</u> Constante des gaz parfaits : $R = 8.314\,\mathrm{J\,K^{-1}\,mol^{-1}}$.

Exercice 3

Une pépite d'or de 25 g est englobée dans un bloc de glace de masse 3 kg qui flotte sur un lac. On veut faire couler le bloc afin de déposer la pépite d'or au fond du lac. Pour cela on chauffe le bloc avec une puissance de 300 W.

a) Quelle masse de glace doit fondre afin que le bloc puisse couler ?

b) Au bout de combien de temps le bloc coulera si sa température est 0°C ?

c) On suppose maintenant que la température initiale de la glace est -3°C. Est-ce que le fait de pousser le bloc de glace à 10 m de profondeur, où la pression a doublé par rapport à la surface, joue un rôle significatif dans la durée du processus de fonte ? Justifiez votre réponse sur la base d'une analyse d'ordres de grandeur. On utilisera l'équation de Clausius-Clapeyron pour la transition de phase solide-liquide à température constante : $\frac{dp_L}{dT} = \frac{mL_f}{T(V_L - V_S)}$.

<u>Indications :</u> Masse volumique de l'or $\rho_{\mathrm{or}} = 19.3 \times 10^3\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$; Masse volumique de la glace $\rho_{\mathrm{glace}} = 916\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$; Chaleur latente de fusion de la glace $L_f = 3.33 \times 10^5\,\mathrm{J\,kg^{-1}}$; $1\,\mathrm{atm} = 1.013 \times 10^5\,\mathrm{Pa}$; Principe d'Archimède : *"Tout corps plongé dans un fluide subit une poussée verticale, dirigée de bas en haut, égale au poids du fluide déplacé".*

Exercice 4

Un système A contient n fois le nombre de particules d'un autre système B. Leurs capacités thermiques à volume constant sont liées par la relation simple $C_{V,A} = nC_{V,B}$. Initialement chaque système est isolé, et la température du système A est plus élevée que celle du système B. Ensuite, les deux systèmes sont mis en contact, sans changer les volumes, à travers une cloison fixe qui laisse passer la chaleur mais pas les particules. Une fois l'équilibre atteint, les deux températures sont identiques et égales à T_f.

a) Calculez la température d'équilibre T_f.

b) Calculez la variation d'entropie de l'univers $\Delta S_{\text{univ.}}$.

c) Dans le cas $n \gg 1$, montrez que $T_f \simeq T_A \left(1 - \frac{1-x}{n}\right)$ et $\Delta S_{\text{univ.}} \simeq C_{V,B}(x - 1 - \ln x)$ où $x = \frac{T_B}{T_A}$.

d) Si, en plus de la chaleur, la cloison laissait passer les particules d'un système à l'autre, la variation d'entropie de l'univers serait-elle plus grande ou plus petite qu'au b) ? Justifiez votre réponse par un raisonnement qualitatif.

<u>Indications :</u> $\ln(1 + \epsilon) \simeq \epsilon$ si $\epsilon \ll 1$.

Exercice 5

Le corps d'un homme peut être considéré comme un cylindre de 1.8 m de long et 30 cm de diamètre. La température à l'intérieur du corps reste constante (37°C), mais la température à la surface varie en fonction des conditions extérieures. La peau, d'épaisseur 10 mm, a une conductibilité thermique de $k_{\text{peau}} = 0.7\,\mathrm{W\,m^{-1}\,°C^{-1}}$ et est recouverte d'une couche d'air, piégé par les habits que l'homme porte, de 4 mm d'épaisseur et de conductibilité thermique $k_{\text{air}} = 0.025\,\mathrm{W\,m^{-1}\,°C^{-1}}$.

a) Pendant la journée, l'homme reste à l'ombre, dans de l'air à 45 °C. En négligeant le rayonnement et la convection, calculez la température de la surface externe de sa peau.

b) Si l'homme transpire, on peut considérer que la couche d'air est remplacée par une couche d'eau ($k_{\text{eau}} = 0.6\,\mathrm{W\,m^{-1}\,°C^{-1}}$) de même épaisseur. L'évaporation de cette couche l'aide à évacuer de la chaleur. Si l'on suppose que tout ce que l'homme boit donne lieu à évaporation, combien de litres d'eau doit-il boire par heure au minimum pour que la température de la couche externe de sa peau soit égale à la température du corps ? La température extérieure est toujours de 45°C. On néglige les pertes de chaleur par rayonnement.

c) Pendant la nuit, l'air se refroidit et la température de la couche externe de la peau vaut 8°C. On peut négliger tout transfert de chaleur sauf l'échange d'énergie par rayonnement avec le ciel, sans nuage ni lune, qui peut être considéré comme un corps noir à une température de -30°C. En supposant que l'émissivité de la couche externe de la peau est $e = 0.85$, calculez la puissance que l'homme doit utiliser pour maintenir sa température interne à 37°C. A combien de plaques de chocolat de 100 g correspond l'énergie qu'il doit consommer durant la nuit (8h) ?

<u>Indications :</u> On négligera la surface des extrémités du cylindre. On négligera tous les effets dus aux habits portés ; Chaleur latente de vaporisation de l'eau $L_v = 2.257 \times 10^6\,\mathrm{J\,kg^{-1}}$; Constante de Stefan-Boltzmann : $\sigma_B = 5.67 \times 10^{-8}\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-4}}$; Valeur énergétique d'une plaque de chocolat de 100 g : $520\,\mathrm{kcal}$; $1\,\mathrm{cal} = 4.184\,\mathrm{J}$