Année universitaire 2006-2007

L2 Physique

Thermodynamique

Examen de septembre

Durée 2h

Questions sur la diffusion thermique

1 – Bilan radiatif – Rayonnement du corps noir.

a) Rappeler la loi de Stefan. On introduira la constante de Stefan σ=5,67 10^{-8} W.m^{-2}.K^{-4}.

b) Un verre standard (SiO_2) est transparent pour une radiation visible, en est-il de même dans l'infra-rouge ?

c) Un corps noir derrière une vitre est exposé à un flux surfacique de 1 kW.m^{-2}. Exprimer T en fonction du flux surfacique et de la constante de Stefan.

d) Calculer numériquement la température.

2 – Flux conducto-convectif

a) Exprimer le flux conducto-convectif Φ en fonction de la surface S considérée, de températures que l'on précisera et d'un coefficient h appelé coefficient surfacique de transfert conducto-convectif de la paroi.

b) Indiquer l'unité de h.

3 – Conduction dans un solide

a) Donner l'expression de la loi de Fourier. On introduira λ, conductivité thermique du solide considéré.

b) Ecrire le bilan énergétique à une dimension et en déduire l'équation de la chaleur dans un solide uniforme. On notera U_m l'énergie interne massique emmagasinée par le solide à la température T (U_m=C_mT) où Cm représente la chaleur massique. La quantité de matière considérée dm vaut ρdV où ρ et la masse volumique et dV un volume élémentaire.

Exercice I : gaz non parfait

On considère de l'air à la température T_0 comprimé à la pression p_1. L'air est ici décrit par l'équation d'état :

$$p(v-b)=RT$$

où v est le volume molaire et b le covolume associé au gaz.

1) En déduire l'énergie interne molaire u(T) en fonction de c_v, T et l'état de référence indicé 0. c_v est la capacité thermique isochore molaire.

2) Calculer l'enthalpie molaire h(T,p)

3) Calculer c_p. Vérifier que la relation de Mayer est toujours valide.

4) Déterminer la fonction d'état entropie molaire s(T,p) (partir de du).

5) L'air comprimé subit une détente de Joule-Thomson qui le conduit de la pression initiale p_1=200 bar à la pression atmosphérique p_0=1 bar. Calculer la variation de température accompagnant cette détente que l'on considérera comme parfaitement isenthalpique.

R=8,31 J.K^{-1}.mol^{-1}, b=3 10^{-5}m^3.mol^{-1} et γ=c_p/c_v=1,4.

6) Calculer la variation d'entropie molaire du gaz lors de cette transformation : la détente est-elle réversible ? Justifier votre réponse en terme de création et d'échange entropique.

Exercice II : efficacité d'un moteur a explosion

On peut décomposer un cycle de fonctionnement d'un moteur à explosion en 4 phases successives :

AB : admission, le cylindre reçoit par une soupape d'admission un mélange air-carburant en passant de son volume minimal (A) à son volume maximal (B) : cette étape est isotherme et isobare.

BC : compression adiabatique réversible. La soupape d'admission se referme et le piston comprime le mélange jusqu'à ce que le volume du cylindre soit minimal (C)

CDE : explosion (pression passe à la valeur maximale : point D). La chaleur Q_{Chaude} dégagée par la combustion du carburant dans l'air est supposée fictivement fournie par une source chaude fictive. Après l'explosion, on considère une détente adiabatique réversible jusqu'au volume maximal (E)

EBA : échappement modélisé par une transformation isochore (EB) ramenant la pression à la pression atmosphérique, comme si le gaz cède la chaleur Q_{Froide} à l'atmosphère qui joue ici le rôle de source froide et ensuite retour du point B au point A.

Tous les gaz sont des gaz parfaits. Les ouvertures et fermetures sont supposées amener à des situations d'équilibres en des temps très courts devant le déplacement du piston. Le taux de compression ou rapport volumétrique sera noté $a=V_{max}/V_{min}$

1) Dessiner le cycle (BCDEB) sur le diagramme p(V) de Clapeyron et ajouter les étapes (AB) et (BA). On indiquera V_{min} et V_{max}. C'est le cycle de Beau de Rochas.

2) Définir l'efficacité. Exprimer l'efficacité en fonction de Q_{Froide} et Q_{Chaude}.

3) Exprimer Q_{Chaude} associée à la transformation isochore (CD) puis Q_{Froide} associée à la transformation isochore (EB). On considérera la variation d'énergie interne. Les chaleurs seront exprimées en fonction de différence de température.

4) Exprimer T_C ou T_D en fonction de T_B ou T_E, a et γ.

5) Exprimer l'efficacité en fonction de a et γ. Calculer l'efficacité pour a = 6 avec γ=1,4.

On souhaite comparer cette efficacité à l'efficacité associée à un cycle de Carnot. Il faut donc déterminer les températures des sources chaudes et froides. Elles seront prises égales à : $T_{chaude}=T_D$ et $T_B=T_{froide}=300K$.

6) Dessiner un cycle de Carnot sur un diagramme de Clapeyon p(V)

7) Pour le cycle de Carnot, la transformation (BC) est isentropique, en déduire T_C si $T_B=300K$. Si $Q_{chaude}/C_V=2778$ K, en déduire T_D.

8) Calculer l'efficacité associée au cycle de Carnot, comparer à l'efficacité associée au cycle de Beau de Rochas et commenter à partir d'un raisonnement sur la réversibilité.