Travaux Dirigés de la Thermodynamique

Exercice 1

Tout en un

P 161

C 603

Du dioxygène contenu dans une bouteille de volume $V_1 = 1L$ à $T_1 = 20°C$sous $P_1 = 3$ bars et du dioxyde de carbone contenu dans une autre bouteille de volume $V_2 = 3L$ à $T_2 = 50°C$sous $P_2 = 2$ bars, sont introduits en totalité dans un réservoir de volume $V = 5L$ initialement vide. La température après mélange est $T = 40°C$. Calculer la pression finale P dans le réservoir et les pressions partielles p_1 et p_2 du dioxygène et de dioxyde de carbone.

Exercice 2

Un gaz réel suit l'équation de Van der Waals :

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT \qquad (1)$$

Tout en

P 143

Il subit la succession de transformations suivantes qui seront supposées quasistatiques : A B dilatation isobare à la pression P_0 augmentant le volume de $V_0 = 1L$ à $V_1 = 5L$, B C compression isotherme à la température de $1000K$ ramenant le volume à V_0, C A détente isochore ramenant le système à son état initial.

1) Tracer ce cycle dans le diagramme de Watt.

2) Dans les unités du système international, $a = 0,14$ et $b = 3,22.10^{-5}$. Préciser ces unités.

3) Préciser les valeurs de la température, de la pression et du volume aux sommets du cycle.

4) Calculer les travaux des forces de pression au cours de chaque phase du cycle.

5) Au cours du cycle, le système reçoit-il ou cède-t-il un transfert thermique ? Justifier numé riquement.

6) Déterminer les transferts thermiques au cours de chaque phase du cycle.

7) Quelle vérification peut-on faire ?

On donne l'expression de son énergie interne

$$U = \frac{3}{2}RT - \frac{a}{V} \qquad (2)$$

Exercice 3

Un récipient de volume $V_A = 25L$, fermé par un piston, contient 2 moles d'air (gaz parfait) initialement à la température de 20°C. On porte de façon quasi statique le volume d'air à une valeur $V_B = 10L$ et à une température de 150°C. Le passage de l'état A à l'état B s'effectue de deux manières différentes. Le trajet 1 suit d'abord un chauffage isochore puis un refroidissement isobare de V_A

Tout en un P 163

à V_B et le trajet 2 suit d'abord un refroidissement isobare de V_A à V_B , puis un chauffage isochore. On donne ($R = 8,31 J.mol^{-1}.K^{-1}$) et les capacités thermiques de l'air : $C_V = 20,8 J.mol^{-1}.K^{-1}, c_V = 720 J.kg^{-1}.K^{-1}, C_P = 29,1 J.mol^{-1}.K^{-1}, c_P = 1005 J.kg^{-1}.K^{-1}$.

1) Représenter les deux évolutions précédentes dans un diagramme $P(V)$.

2) Déterminer les pressions $P_A$et P_B et les températures intermédiaires T_1 et T_2 res pectivement en fin de chauffage isochore dans le trajet 1 et en fin de refroidissement isobare dans le trajet 2.

3) Exprimer et calculer les travaux W_1 et W_2 et les chaleurs échangées Q_1 et Q_2 correspondant respectivement aux trajets 1 et 2. Que constatez-vous lorsque vous comparez la somme des énergies échangées $W_1 + Q_1$ et $W_2 + Q_2$?

Tout en un p 181

Exercice 4

Une mole de gaz, considéré comme parfait ($R = 8,31 J.mol^{-1}.K^{-1}$), occupe un volume de $14L$ sous une pression de $2.10^5 Pa$. On fait subir à ce gaz la succession de transformations réversibles suivante : une détente isobare qui double son volume, une compression isotherme qui le ramène à son volume initial, et enfin un refroidissement isochore qui le ramène à l'état initial.

1) Déterminez la température à laquelle s'effectue la compression isotherme. En déduire la pression maximale atteinte.

2) Représenter le cycle de transformation dans le diagramme $P(V)$. Donner une repré sentation graphique du travail échangé au cours de ce cycle et préciser en le justifiant si le système reçoit ou fournit ce travail.

3) Calculer le travail et la chaleur échangés par le système au cours du cycle.

Exercice 5

* Un compresseur prélève une mole d'air dans l'atmosphère à la pression $P_1 = 1$ bar et à la température $T_1 = 300K$ (état A), la comprime à la pression $P_2 = 10$ bars (état B) puis la refoule à pression constante P_2 dans un ballon gonflable (état C). On suppose que l'air est un gaz parfait diatomique ($\gamma = 1,4$ et $R = 8,31 J.mol^{-1}.K^{-1}$), les diverses transformations sont réversibles et le piston peut coulisser sans frottement.

Tout e p 181

1) Considérons d'abord un compresseur adiabatique où l'étape de compression est effectuée de façon adiabatique. L'étape de refoulement isobare s'accompagne alors d'un refroidissement jusqu'à la température T_1 . Représenter dans un diagramme $P(V)$, le parcours ABC que subit cette mole d'air au cours de cette opération. Calcu ler la température T_2 en fin de compression et déterminez le travail total reçu par l'air au cours de cette double opération.

2) Considérons maintenant un compresseur isotherme où l'étape de compression est effectuée cette fois de manière isotherme. Représenter de nouveau, dans un dia gramme $P(V)$, le parcours ABC que subit cette mole d'air. Déterminer le travail total reçu par l'air au cours de cette opération.

3) En comparant les résultats obtenus entre les deux compresseurs, pour le même état initial et état final, en déduire quel type de compresseur est industriellement le plus intéressant.

Exercice 6

n moles d'un gaz parfait sont contenues dans un cylindre vertical, comportant un piston mobile de section S constante et de masse négligeable. Les parois du cylindre et du piston sont diathermanes et le milieu extérieur est caractérisé par une température T_0 et une pression P_0 constantes. Initialement le gaz est à l'équilibre et occupe un volume V_0. On place sur le piston un poids de masse M et on attend qu'un nouvel état d'équilibre soit atteint. On note V le volume occupé par le gaz dans cet état et on pose $x = V_0/V_1$.
Exprimer la variation d'entropie du gaz, l'entropie échangée par le gaz ainsi que l'entropie créée en fonction de n, R et x. Justifier l'irréversibilité de la compression.

Exercice 7

Une pompe à chaleur effectue le cycle de Joule inversé suivant. L'air pris dans l'état A de température T_0 et de pression P_0 est comprimé suivant une adiabatique quasistatique jusqu'au point B où il atteint la pression P_1. Le gaz est ensuite refroidi à pression constante et atteint la température finale de la source chaude T_1 correspondant à l'état C. Le gaz est encore refroidi dans une turbine suivant une détente adiabatique quasistatique pour atteindre l'état D de pression P_0. Le gaz se réchauffe enfin à pression constante au contact de la source froide et retrouve son état initial. On considère que l'air est un gaz parfait de coefficient isentropique $\gamma = 1,4$. On pose $\beta = 1 - 1/\gamma$ $a = P_1/P_0$. On prendra $T_0 = 283K, T_1 = 298K, a = 5$ et $R = 8,31 J.K^{-1}.mol^{-1}$.

1) Représenter le cycle parcouru par le gaz dans le diagramme de Clapeyron donnant la pression en fonction du volume.

2) Calculer les températures T_B et T_D des états B et D.

3) Définir l'efficacité e de la pompe à chaleur en fonction des transferts thermiques du cycle. En déduire son expression en fonction de a et β. Donner sa valeur numérique.

4) Quelles doivent être les transformations du gaz si on fait fonctionner la pompe à chaleur suivant un cycle de Carnot réversible entre les températures T_0 et T_1 ?

5) Établir l'expression de son efficacité e_r. Donner sa valeur numérique.

6) Comparer e et e_r. Proposer une explication à ce résultat.

7) Déterminer l'expression de l'entropie créée S_c pour une mole d'air au cours du cycle de T_0 Joule en fonction de R, β et $x = a^\beta T_0/T_1$.

8) Étudier le signe de S_c en fonction de x. Etait-ce prévisible ? Calculer sa valeur.

9) Sachant qu'en régime permanent, les fuites thermiques s'élèvent à $Q_f = 20kW$, calculer la puissance du couple compresseur-turbine qui permet de maintenir la température de la maison constante.

Exercice 8: Questions de cours

1) Définir un gaz parfait.

2) Montrer que pour les diagrammes entropiques la croissance des courbes représentant les isochores est plus forte que celle des isobares.

3) Montrons à partir de la loi de Laplace pour un gaz parfait qu'une transformation

adiabatique quasi-statique réversible est aussi isentropique .
4) A partir d'un raisonement cohérent, établir que

$$l = T\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V \qquad \text{et} \qquad h = -T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P.$$

Application aux gaz parfaits.
5) Définir une machine ditherme puis donne l'énoncé de Carnot du second principe.

Exercice 9

Dans les moteurs Diesel actuels, à vitesse de rotation élevée, le cycle décrit par l'air est celui représenté sur la figure ci-dessous dans le diagramme de Clapeyron.

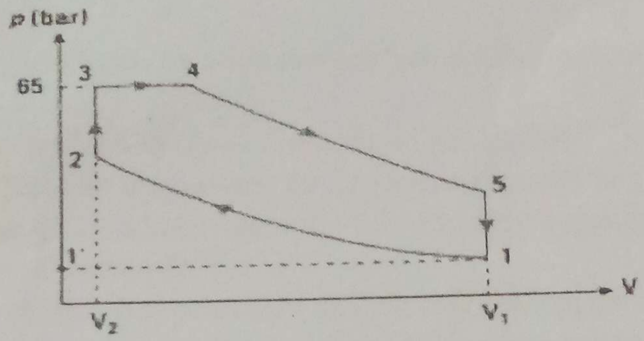

Figure 1:

- Après la phase d'admission de 1′ à 1, l'air subit une compression isentropique de 1 à 2.
- Après l'injection de carburant en 2, la combustion s'effectue d'abord de façon isochore de 2 à 3 puis se poursuit de façon isobare de 3 à 4.
- La phase de combustion est suivie d'une détente isentropique de 4 à 5 puis d'une phase d'échappement isochore de 5 à 1 et de refoulement isobare de 1 à 1′.

La pression en 1 est $1bar$ et la température est $293K$. La température maximale (en 4) est $2173K$.

On suppose que l'air est un gaz parfait diatomique et on appelle α_v le rapport volumétrique de compression : $\alpha_v = \frac{V_1}{V_2} = 19$.

1) Exprimer en fonction de γ et des températures l'efficacité de ce moteur Diesel.
2) Calculer les températures T_2, T_3 et T_5. En déduire la valeur numérique de l'efficacité e.
3) Déterminer le transfert thermique Q_c reçu par une masse d'air d'un kilogramme lors de la combustion de 2 à 4.
4) Déterminer le transfert thermique Q_f reçu par une masse d'air d'un kilogramme lors de l'évolution de 5 à 1.

de Joule

5) Déterminer le travail W reçu par une masse d'air d'un kilogrammme au cours d'un cycle.

Donnée : Masse molaire de l'air $M = 29g.mol^{-1}$.

Exercice 10

Pour un fluide quelconque, on peut écrire le transfert thermique sous la forme :

$$\delta Q = C_V dT + ldV = C_P dT + hdP$$

avec

$$l = T\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V \qquad \text{et} \qquad h = -T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$$

1)a. Définir les trois coefficients thermoélastiques α, β et χ_T.

b. Établir l'expression de l et h en fonction des coefficients thermoélastiques ainsi que de T, P et V.

c. En déduire $C_P - C_V$ en fonction des coefficients thermoélastiques ainsi que de T, P et V.

d. Exprimer $\alpha, \beta, \chi_T, l, h$ et $C_P - C_V$ pour un gaz parfait.

e. Montrer que, dans un diagramme de Clapeyron donnant la pression P en fonction de V, la pente d'une adiabatique est γ fois plus élevée que celle d'une isotherme. On donnera la signification de γ

2) On considère un récipient contenant de l'air et possédant deux orifices. L'une est reliée au capteur de pression commercial qui délivre une tension u proportionnelle à la pression P et l'autre à un robinet. Initialement on crée une légère surpression dans le récipient. En A, on ouvre le robinet qu'on ferme très rapidement en B tout en enregistrant la pression. On laisse ensuite le système évoluer jusqu'en C. On observe une diminution de la tension de $u_A = 3,5V$ à $u_B = 0,1V$ puis une augmentation jusqu'à $u_C = 0,7V$.

a. Quel système doit-on considérer ? Pourquoi peut-on supposer que la transformation AB est adiabatique ? Préciser la nature de la transformation BC.

b. Pour la transformation BC, on admet que les échanges thermiques se font par convection selon la loi dite de Newton : les pertes sont proportionnelles à l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur $P = k(T - T_0)$ où T est la température du gaz et T_0 la température extérieure. En faisant un bilan énergétique, montrer que

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{T - T_0}{\tau}.$$

On exprimera τ en fonction de R, n le nombre de moles du gaz dans le système et γ.

c. En déduire l'équation différentielle vérifiée par la pression.

3) Tracer dans le diagramme de Clapeyron l'évolution du système.

4) Exprimer γ en fonction des tensions u_A, u_B et u_C. Donner sa valeur numérique.