

Thermodynamique

Révisions

- ◇ Revoir les chapitres TH1 à TH6 et le TP-cours sur les changements d'état.
- ◇ Vérifier les connaissances de cours (s'aider des **Tester le cours** en début de TD).
- ◇ Refaire quelques exercices de base.

Questions de cours

1. Qu'est-ce qu'une variable thermodynamique ? Qu'est-ce qu'une variable intensive, extensive ? Donner des exemples.
2. Qu'est-ce qu'une fonction d'état ?
3. Comment peut-on caractériser un équilibre thermodynamique ?
4. Quand dit-on qu'un système subit une transformation ? Qu'est-ce qu'une transformation infinitésimale ?
5. A quelle condition dit-on qu'une transformation est quasistatique ? Quand peut-on dire qu'une transformation est réversible ?
6. Quelle est la différence entre un système isolé et un système fermé ?
7. Comment s'exprime simplement la notion d'énergie interne U pour une phase condensée indilatable ?
8. Quels termes faut-il ajouter à l'énergie interne pour obtenir l'énergie totale d'un système ?
9. Énoncer le premier principe de la thermodynamique ? Donner son expression dans le cas d'une transformation thermodynamique élémentaire.
10. On considère une transformation dans laquelle le seul travail reçu est celui des forces de pression. Écrire le premier principe
 - 10.1. dans le cas d'une transformation isochore.
 - 10.2. dans le cas d'une transformation monobare entre deux états d'équilibre.
11. Définir l'enthalpie et la capacité thermique à pression constante.
12. Quelle est la relation liant C_{pm} et C_{vm} pour un gaz parfait ?
13. Énoncer le second principe de la thermodynamique. Qu'est-ce que l'entropie échangée ? Qu'est-ce que l'entropie créée ?
14. Que dit le troisième principe ? quelle est son utilité ?
15. Citer des causes d'irréversibilité.
16. Quel est le principe d'une machine cyclique ditherme ? Établir l'inégalité de Clausius-Carnot.
17. Pour un moteur ditherme, définir le rendement. Quel est le rendement de Carnot ?
18. Pour une machine frigorifique ditherme, quelle est la définition et l'expression de l'efficacité
19. Pour une pompe à chaleur ditherme, quelle est la définition et l'expression de l'efficacité
20. Donner le diagramme (P, T) d'équilibre de changement d'état de l'eau et le commenter.
21. Comment sont définies l'enthalpies et l'entropie de changement d'état ? Quelle relation les lie ?
22. Rappeler en diagramme de Clapeyron les courbes donnant les isothermes d'Andrews pour l'équilibre liquide-vapeur.

Applications directes du cours

Ex 1 Un gaz parfait subit une transformation adiabatique et réversible. A quelle relation entre P et V cela conduit-il ?

Ex 2 A partir d'un point du diagramme de Clapeyron, représenter pour un gaz parfait une détente adiabatique et une détente isotherme. Rappeler le rapport des pentes.

Ex 3 Exprimer C_{pm} et C_{vm} dans le cas d'un gaz parfait en fonction de R et γ .

Ex 4 On considère n moles de gaz parfait que l'on fait passer de manière mécaniquement réversible d'un volume initial V_i (température T_i) à un volume final $V_f < V_i$.

1. La compression est isotherme. Décrire le système et donner le transfert thermique reçu par le gaz.
2. La compression est adiabatique. Décrire le système et donner la variation de température ΔT subie par le gaz.
3. Le gaz est en contact avec un thermostat de température T_i . En déduire qualitativement que pour une transformation telle que $PV^a = cste$ et $1 < a < \gamma$, on a $\Delta T > 0$ et $Q < 0$. Ce résultat est-il paradoxal ?

Ex 5 Appliquer le second principe au fluide d'un système monotherme en évolution cyclique. Que peut-on en conclure ?

Ex 6 Déterminer l'entropie d'un gaz parfait sous la forme $S(T, V)$ puis sous la forme $S(T, P)$.

Ex 7 Un gaz parfait subit une transformation adiabatique mécaniquement réversible. Calculer sa variation d'entropie, et retrouver un résultat attendu sur l'entropie créée.

Ex 8 Une masse $m = 5 \text{ kg}$ de fer chaud à $T_{fer} = 327^\circ\text{C}$ est trempée dans un lac à $T_L = 7^\circ\text{C}$. Quelle est l'entropie créée sachant que la capacité thermique massique du fer est $c = 0,45 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}\text{K}^{-1}$.

Ex 9 Pourquoi le premier principe est-il insuffisant ? Donner un exemple.

Ex 10 Pour les mêmes quantités de matière d'un corps pur donné, classer les entropies des trois phases solide, liquide et gaz.

Ex 11 L'existence de parois athermanes est-elle une condition nécessaire et/ou suffisante pour que la transformation d'un gaz soit adiabatique ? Y-a-t-il équivalence entre transformation adiabatique et $Q = 0$?

Ex 12 Y-a-t-il équivalence entre transformation adiabatique réversible et transformation isentropique ?

Ex 13 Les transformations réversibles sont nécessairement quasistatiques mais l'inverse n'est pas vrai. Donner quelques exemples.

Ex 14 En été quand il fait chaud on utilise des brumisateurs (qui dispersent de fines gouttelettes d'eau) pour rafraîchir l'air. Expliquer pourquoi.

Ex 15 Lors des hivers froids, les paysans plaçaient des cuvettes d'eau dans leur cave pour éviter que les pommes de terre n'y gèlent. Expliquer.

Ex 16 Pourquoi en hiver les vitres de la classe se couvrent de buée ?

Ex 17 Pourquoi peut-il se mettre à pleuvoir lorsqu'un nuage est obligé de prendre de l'altitude pour franchir un relief ?

Ex 18 Pourquoi un peu d'éther versé sur la main procure-t-il une sensation de froid ?

Ex 19 Pourquoi le temps de cuisson est-il réduit dans un auto-cuiseur sachant que la pression peut y atteindre 2 atm.

Ex 20 Justifier en diagramme de Clapeyron le signe du travail dans une transformation cyclique mécaniquement réversible en fonction du sens du parcours.

Ex 21 Montrer que le moteur monotherme n'existe pas.

Ex 22 Un moteur thermique fonctionne avec une source chaude à 227°C et une source froide à 27°C . Que peut-on dire de son rendement ?

Ex 23 Qu'est-ce qui est le plus efficace pour refroidir une boisson, y ajouter un glaçon à 0°C ou la même quantité d'eau à 0°C ? Justifier qualitativement.

Exercices

Ex 24 Quelle durée faut-il à une bouilloire électrique pour porter à ébullition 1 L d'eau initialement à 20 °C sachant que la puissance de sa résistance chauffante est de 2 kW. Quelle augmentation de température obtiendrait-on si la même quantité d'énergie servait à chauffer la même masse de fer de capacité thermique massique $c = 0,45 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

Ex 25 Un cylindre à parois diathermanes contient n moles de gaz parfait à la température initiale T_1 et à la pression P . Il est mis en contact avec un thermostat de température constante T_0 .

1. On suppose $T_1 > T_0$ et on considère d'abord comme transformation le refroidissement du gaz à volume V_0 constant (piston fixé). Quel est le rôle du thermostat ? Calculer ΔS_{gaz} , S_{ech} et S_c au cours de la transformation.

2. A $T = T_0 = \text{cste}$ par le déplacement quasistatique et sans frottement du piston, on détend le gaz en le faisant passer du volume V_0 au volume $V_1 > V_0$. Quel est le rôle du thermostat ? Calculer $\Delta S'_{\text{gaz}}$, S'_{ech} et S'_c au cours de la transformation.

Ex 26 Moteur

Le fluide d'une machine thermique fonctionnant de manière cyclique échange de l'énergie avec 2 corps de même capacité thermique C et de températures initiales T_1^0 et T_2^0 . $T_1^0 > T_2^0$.

1. Montrer que pour récupérer un travail, il faut nécessairement $dT_1 < 0$ et $dT_2 > 0$.

2. A quelle condition le travail récupéré est-il maximal ? Déterminer alors la température finale T_f du système et le travail maximal W_{max} récupéré.

Application numérique : calculer T_f pour $T_1^0 = 100^\circ\text{C}$ et $T_2^0 = 0^\circ\text{C}$.

3. Dans les mêmes conditions comment évolue le rendement au cours du fonctionnement du moteur. Déterminer le rendement initial, moyen et final ? Applications numériques.

Ex 27 Par suite des frottements de l'air, les grêlons acquièrent très rapidement dans leur chute une vitesse constante. En supposant que la température d'un grêlon est de 0 °C, déterminer la hauteur minimale de chute h dans l'air à 0 °C pour provoquer sa fusion totale.

Ex 28 Cycle moteur

Le système est un gaz parfait. On part de $A(P_0, V_0, T_0)$ par une détente isotherme mécaniquement réversible jusqu'en B où le volume est αV_0 (α est le rapport volumétrique). Entre B et C le gaz subit une transformation isobare mécaniquement réversible amenant la température à βT_0 . De C à A , on revient par une transformation adiabatique réversible.

1. Tracer le cycle dans un diagramme de Clapeyron. Préciser les transformations BC et CA . Etablir la relation liant α et β . Sur quel tronçon intervient la source chaude ? Trouver sa température T_1 . Sur quel tronçon intervient la source froide ? Trouver sa température T_2 .

2. Exprimer le rendement du cycle en fonction de α et de $\gamma = C_p/C_v$.

Application numérique : $\alpha = 10$, $\gamma = 1.4$. Vérifier qu'il est inférieur au rendement théorique maximal de Carnot.

3. Pour chacune des 3 transformations évaluer la variation d'entropie du gaz ΔS_g puis calculer l'entropie échangée S_{ech} avec la source et en déduire l'entropie créée S_c au cours de la transformation. Faire ensuite un bilan entropique sur le cycle. Commenter.

Ex 29 Mélange de glace et de vapeur d'eau

Dans un récipient calorifugé, on met en contact $m_g = 25 \text{ g}$ de glace à $t_g = 0^\circ\text{C}$ et $m_v = 10 \text{ g}$ de vapeur d'eau à $t_v = 100^\circ\text{C}$. Quelle est la composition et la température à l'équilibre ?

Données : les enthalpies de changement d'état sont pour la fusion $L_f = 334 \text{ J g}^{-1}$ et pour la vaporisation $L_v = 2260 \text{ J g}^{-1}$. La capacité thermique de l'eau est $c = 4,2 \text{ J g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Ex 30 Compression isotherme d'une vapeur d'eau

Un récipient de volume initial $V_i = 3 \text{ L}$ contient seulement $m = 1 \text{ g}$ d'eau à la température $T_0 = 100^\circ\text{C}$. Par déplacement réversible d'un piston on réalise sur ce système une compression isotherme réversible jusqu'au volume final $V_f = 1 \text{ L}$.

1. Préciser la composition du système dans les états final et initial.

2. Calculer le travail W et le transfert thermique Q reçus par le système.