TD TC1 - Thermochimie

Principes de la thermodynamique

Questions de cours

Pour apprendre le cours : vérifiez que vous savez répondre à chaque question.
Les questions en gras sont susceptibles d'être posées en khôlle (ce qui ne rend pas les autres questions inutiles à travailler).

1. Donner les adjectifs qui peuvent qualifier une transformation et leur définition.
2. Définir l'enthalpie d'un système.
3. Définir une transformation infinitésimale.
4. Enoncer les deux principes de la thermodynamique pour une transformation finie puis pour une transformation infinitésimale. Préciser en particulier l'expression du travai et du travaill élémentaire des forces pressantes et celle de l'entropie échangée et de l'entropie échangée élémentaire.
5. Donner les 2 identités thermodynamiques (en U et H) pour un système fermé de composition constante. Donner l'expression de la pression et de la température thermodynamique.
6. Redémontrer les expressions de ΔS pour une phase condensée et pour un gaz parfait.

Exercices de cours - Savoirs-Faire

SF de base - Simplifier les principes en fonction des caractéristiques de la transformation

On considère un système fermé dont les énergies cinétique et de pesanteur ne varient pas entre les instants initial et final. Il reçoit du travail uniquement de la part des forces de pression. Dans chacun des cas suivants, écrire l'expression de dU et de dS tels que donnés par l'application des premier et second principe :

- ▷ la transformation est adiabatique ;
- ▷ la transformation est adiabatique et réversible ;
- ▷ la transformation est isochore.

SF de base - Exprimer des différentielles

L'équation d'état de n moles d'un gaz s'écrit $P(V-b) = nRT$.
En déduire l'expression de la différentielle dP.

SF 1 - Exploiter les identités thermodynamiques

1. A l'aide des identités thermodynamique, établir l'entropie des gaz parfaits en fonction de P, T puis V, T et enfin P, V.
2. En déduire les lois de Laplace.

SF 2 - Exploiter les principes sous forme différentielle

On considère une masse m d'eau qui chauffe dans une casserole.
A l'instant initial, l'eau est à une température T_0 qui est également la température ambiante.
Elle reçoit une puissance thermique $\mathcal{P}_0$ constante de la part de la casserole chauffée elle-même par la plaque, mais elle est refroidie par l'air ambiant en lui fournissant la puissance thermique $P_{air} = G(T - T_0)$ où G est une constante et T est la température de l'eau à l'instant t.

Etablir et résoudre l'équation différentielle satisfaite par T.

Exercices phares

Exercice 1 - Transformation polytropique

Soit n mole d'un gaz parfait. Ce gaz subit une évolution polytropique que nous pouvons caractériser de la manière suivante : à partir d'état initial (P_0, V_0, T_0), le gaz évolue réversiblement vers un état d'équilibre (P_1, V_1, T_1) de telle sorte que tout le long de la transformation la quantité $PV^k = cste$, avec $k \neq 0$.

1. Montrer que la différentielle de la fonction entropie dS peut se mettre sous la forme $dS = nc\dfrac{dT}{T}$. Exprimer c en fonction de R, γ et k. Calculer alors la variation d'entropie du gaz en fonction de n, R, k,γ, T_0 et T_1.
2. Calculer directement le travail reçu par le gaz au cours de la transformation et retrouver, à l'aide des principes de la thermodynamique en écriture infinitésimale, l'expression de c précédente.
3. En déduire le transfert thermique reçu par le gaz.
4. Quelle valeur faut-il donner à k pour que l'évolution polytropique devienne une isobare ? une isochore ? une adiabatique ? une isotherme ? Interpréter.

Exercice 2 - Température salle de classe

On veut étudier le chauffage et le refroidissement d'une salle de classe lors d'une froide journée d'hiver. Soit T_{ext} la température de l'air extérieur et T la température de la classe (supposée uniforme). On note C la capacité calorifique totale de la salle de classe.
Lors d'une évolution infinitésimale entre les temps t et $t + dt$, la salle reçoit une quantité de chaleur δQ, et la température de la salle passe de T à $T + dT$.
L'isolation de la salle n'étant pas parfaite, on suppose qu'elle perd une énergie, pendant un temps dt, donnée par l'expression $\delta Q_{perdue} = aC(T - T_{ext})dt$.
On prendra $T_{ext} = 5°\text{C}$, $C = 5.0 \times 10^6$ J/K, $|a| = 8.0 \times 10^{-5}$ s^{-1}.

1. Quel doit être le signe de a pour que l'expression de δQ_{perdue} soit cohérente ?

La température de la salle est $T_0 = 25°\text{C}$. On arrête le chauffage à l'instant $t = 0$.

2. En appliquant le premier principe entre t et $t + dt$, déterminer l'équation différentielle suivie par $T(t)$.
3. Résoudre cette équation différentielle.
4. Quelle est la température dans la salle au bout de 2h de cours ?

Cette fois, le chauffage est allumé. Il fournit à la salle une puissance P_c.

5. Quelle est l'expression de l'énergie reçue par la salle entre t et $t + dt$ de la part du chauffage ?
6. Déterminer l'équation différentielle suivie par $T(t)$.
7. Sans résoudre l'équation différentielle, l'utiliser pour donner l'expression de la température dans la pièce au bout d'un temps long.
8. Quelle doit être la puissance fournie par le chauffage pour que $T(t)$ tende vers $T_\infty = 25°\text{C}$?

Exercices en plus

Exercice 3 - Chauffage isobare d'un gaz parfait

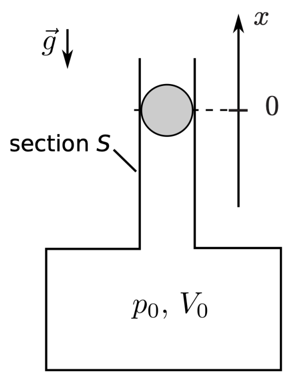
Exercice simple d'exploitation des expressions différentielles pour obtenir les expressions temporelles des grandeurs d'état

Une enceinte indéformable et aux parois calorifugées contient n moles d'un gaz parfait sous P_0, T_0, de capacité thermique molaire $C_{V,m}$. Un radiateur électrique de résistance $r = r_0\dfrac{T}{T_0}$ permet d'échauffer ce gaz parfait (l'enceinte a une capacité thermique propre négligeable).
Exprimer T et P en fonction du temps ($t = 0$ correspond à la mise sous tension E constante du radiateur).

Exercice 4 - Expérience de Rüchardt

Retrouver une ED via les expressions différentielles des principes

Soit un gaz parfait dans un récipient de volume V_0 surmonté d'un tube de verre de section faible S. Soit P_0 la pression atmosphérique.
Considérons une bille d'acier, de masse m, susceptible de glisser sans frottements le long du tube de verre.
Cette bille se trouve en équilibre mécanique en un point O.
On admet qu'à l'équilibre la pression du gaz dans le récipient vaut : $P_0' = P_0 + mg/S$.
On écarte la bille d'une petite distance x_0, à partir de O, à l'instant $t = 0$ et on la relâche sans lui communiquer de vitesse initiale.



1. Expliquer qualitativement ce qui va se passer.
2. Etablir l'équation du mouvement vérifiée par $x(t)$. La linéariser en précisant toutes les hypothèses nécessaires.
3. Indiquer la période des oscillations et en déduire l'expression de γ en fonctions des paramètres expérimentaux.

Exercice pour aller plus loin ⋆⋆⋆

Exercice 5 - Moteur ditherme

Un moteur ditherme réversible utilise comme sources de chaleur deux mêmes corps de masse $m = 50$ kg et de capacité thermique massique $c = 0,5$ J.K^{-1}.g^{-1}, dont les températures initiales sont $T_{10} = 100$°C et $T_{20} = 20$°C.
Du fait des échanges thermiques, les températures des sources varient. On note dT_1 et dT_2 ces variations au cours d'un cycle. Celles-ci sont suffisamment faibles pour pouvoir considérer que sur un cycle les températures des sources sont égales à T_1 et T_2.

1. Montrer que les températures des sources vérifient l'équation différentielle :

$$\frac{dT_1}{T_1} + \frac{dT_2}{T_2} = 0$$

2. Calculer la température T_f des sources quand le moteur s'arrête de fonctionner.
3. Calculer le travail fourni par le moteur.
4. Calculer le rendement global du moteur et le comparer au rendement obtenu avec deux sources de chaleur idéales.