01 mai 2025

Série 10 : Second principe, cycles et machines thermiques

Exercice 1: Transformation réversible et irréversible d'un gaz parfait (*Niveau 3*)

Initialement, un gaz parfait de pression et température respectivement P_0 et T_0 est contenu dans une enceinte thermiquement isolée de volume V_0.

(a) On comprime le gaz de façon réversible en augmentant lentement la pression jusqu'à P_1. Le volume et la température à l'état final sont V_1 et T_1. Comme la transformation est adiabatique et réversible, la variation ΔS de l'entropie entre l'état initial et final est nulle. En retrouver ce résultat à l'aide de la relation

$$\mathrm{d}S = \frac{\mathrm{d}U - \delta W_{\text{rev}}}{T}. \tag{1}$$

(b) En partant des mêmes conditions initiales que précédemment, on comprime le gaz de manière irréversible et adiabatique en augmentant brusquement la pression de P_0 à P_1. Une fois l'équilibre établi, le volume et la température du gaz sont respectivement V_2 et T_2. Comme la transformation est adiabatique et irréversible, la variation ΔS de l'entropie est déterminée par l'augmentation de l'entropie interne S_{int}. Exprimer S_{int} en fonction de $x = P_1/P_0$ et montrer que $S_{\text{int}} \geq 0$. Pour quelle valeur de x on obtient $S_{\text{int}} = 0$? *Suggestion: Utiliser la relation* (1) *pour un chemin réversible qui relie l'état initial* (P_0, T_0, V_0) *à l'état final* (P_1, T_2, V_2). *Pour le calcul du travail, on estimera le travail uniquement durant la période de thermalisation (lorsque la pression est déjà* P_1*).*

Exercice 2: Coordonnèes (T,S) (*Niveau 3*)

On considère une mole d'air, que l'on considère comme un gaz parfait de coefficient adiabatique γ et chaleur spécifique à pression constante C_p connus.

(a) Soit une transformation réversible faisant passer cette mole d'air de l'état 1, défini par (p_1, T_1), à l'état 2, défini par (p_2, T_2). Calculer ΔS_{12} pour cette transformation.

(b) La transformation de l'état 1 à l'état 2 est maintenant irréversible. Que vaut ΔS?

Nous allons maintenant introduire un nouveau type de diagramme, pendant du diagramme (p, V). Il s'agit du diagramme (T, S) dans lequel on représente la température en fonction de l'entropie.

(c) On part de l'état 1 pour arriver à un état (p, T). Quelle est la forme d'une isobare en coordonnées (T, S) (diagramme représentant la température en fonction de l'entropie)? Montrer que pour une température donnée, toutes les isobares ont la même pente. Que peut-on en conclure pour la représentation schématique des isobares en coordonnes (T, S)?

(d) Représenter dans le diagramme (T, S) deux isobares p_1 et p_2 avec $p_2 > p_1$.

(e) Représenter sur le diagramme une compression adiabatique réversible amenant le gaz de (p_1, T_1) à la pression p_2.

(f) Représenter sur le diagramme une transformation adiabatique *irréversible* amenant le gaz de (p_1, T_1) à p_2.

Exercice 3: Variation d'entropie de l'univers (*Niveau 2*)
Calculez la variation d'entropie de l'Univers (c-à-d. du système et de l'environnement) dans les cas suivants :

(a) 10 litres d'eau à température ambiante ($T_1 = 20\,°C$) et à une pression du 30 bars sont mis en contact avec un grand réservoir de température à $T_3 = 227\,°C$.

(b) 10 litres d'eau à température ambiante et à une pression de 30 bars sont mis en contact avec un réservoir à $T_2 = 127\,°C$, puis avec un réservoir à $T_3 = 227\,°C$.

c) En comparant les résultats a) et b), quelle est votre conclusion sur la génération d'entropie?

Indications: Chaleur spécifique de l'eau (liquide): $c_{eau} = 4186\,\mathrm{J\,kg^{-1}\,K^{-1}}$. Considérez l'eau toujours à l'état liquide.

Exercice 4: Etude d'un cycle moteur (*Niveau 2*)
On considère le cycle suivant décrit par deux moles de gaz parfait ($\gamma = 1.4$):

- une compression isotherme, quasi-statique, de A à B de pression $p_A = 1$ bar à température $T_A = T_B = 298$ K;
- un échauffement isobar, quasi-statique, de B à C jusqu'à température $T_C = 400$ K;
- une évolution de C à A par une détente adiabatique, quasi-statique.

(a) Représenter le cycle en coordonnées de Clapeyron.

(b) Exprimer en fonction des données de l'énoncé, les coordonnées des points A, B et C dans ce diagramme.

(c) Exprimer puis calculer les travaux et transferts thermiques reçus par le gaz lors des différentes transformations.

(d) Déterminer l'efficacité du moteur et comparer au cycle de Carnot.

Exercice 5: Le frein moteur (*Niveau 1*)
Deux étudiants discutent:
"Quand je redescends de chez mes parents, dans le Val d'Anniviers, je suis obligé de mettre le frein moteur depuis chez eux jusque dans la vallée. Ça fait un bruit épouvantable, j'ai à chaque fois l'impression que le moteur va lâcher.

- Mais pourquoi tu n'utilises pas tes freins?
- Eh bien parce qu'avec toute l'énergie qui doit être dissipée, mes freins chaufferaient beaucoup trop. Et en plus j'use mes plaquettes.
- Oui mais si tu utilises le frein moteur, c'est ton moteur qui chauffe trop. Du coup tu épargnes tes freins mais tu fatigues ton moteur...
- Eh non!" [*à vous de compléter la réplique*]