Physique II – Thermodynamique

Exercices 7

Problème I Cycle du moteur diesel

Un gaz parfait subit quatre transformations réversibles connu sous le nom du cycle Diesel.

$1 \rightarrow 2$ compression adiabatique,

$2 \rightarrow 3$ détente isobare,

$3 \rightarrow 4$ détente adiabatique,

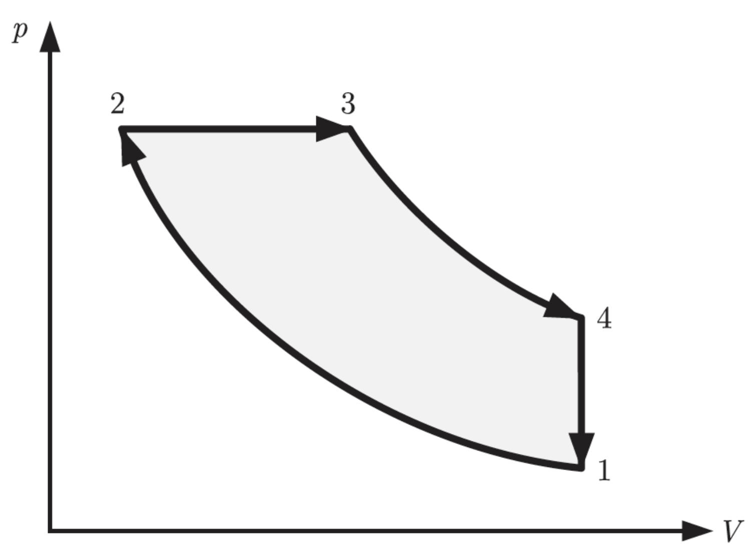
$4 \rightarrow 1$ compression isochore.

La pression p_1 et les volumes V_1, V_2, V_3 sont donnés.

1. Déterminez les pressions p_2 et p_4.

2. Déterminez les variations d'entropie ΔS_{12}, ΔS_{23}, ΔS_{34} et ΔS_{41} sur les quatres transformations et déduisez la variation d'entropie ΔS par cycle.

3. Déterminez les variations d'énergie interne ΔU_{12}, ΔU_{23}, ΔU_{34} et ΔU_{41} sur les quatres transformations et déduisez la variation d'énergie interne ΔU par cycle.



Problème II Cylindre calorifugé (Examen 2016)

On dispose d'un cylindre calorifugé, contenant une mole de gaz parfait de coefficient d'adiabaticité γ. Un piston de masse nulle ferme l'enceinte contenant le gaz. Celui-ci peut être soit laissé libre, pour assurer l'équilibre des pressions interne et externe, soit bloqué. A l'instant initial, le gaz est à la température T_0, et à la pression $p_0 = p_{\text{ext}}$. Le volume initial est V_0. Un filament chauffant dans le cylindre permet de chauffer directement le gaz.

1. Dans un premier temps, le piston est bloqué et le gaz est chauffé à l'aide du filament jusqu'à la température $T_1 = 3T_0$. Calculer la quantité de chaleur reçue par le système, ainsi que la pression p_1 à la fin de la transformation, en fonction de p_0, V_0, et γ.

2. Dans un second temps, le piston est débloqué brutalement. Cette transformation est-elle réversible ou irréversible ?

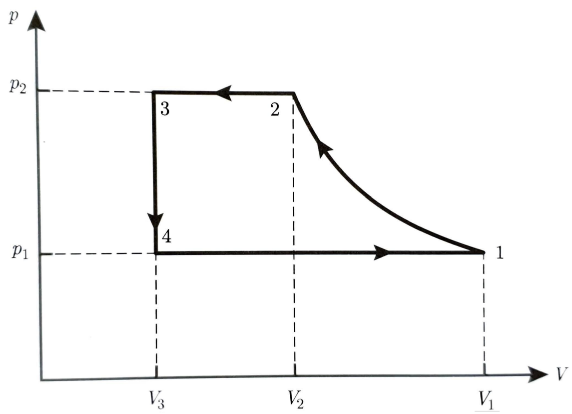
3. Calculer le volume V_2 après cette transformation en fonction de V_0 et du coefficient γ, et la température T_2 en fonction de T_0 et du coefficient γ.

4. Tracer sur un diagramme (p, V) les points des états 0, 1, et 2 en schématisant les isothermes et les adiabatiques réversibles qui passent par ces points.

5. Calculer le terme de création d'entropie pour la seconde transformation.

Problème III Cycle calorifique

Un gaz parfait caractérisé par le coefficient $c = f/2$ (f est le nombre de degrés de liberté pertinents du gaz) et le coefficient de Laplace $\gamma = (c+1)/c$ subit un cycle calorifique constitué de quatre processus réversibles illustré par la figure ci-dessous.



- $1 \longrightarrow 2$: compression adiabatique
- $2 \longrightarrow 3$: compression isobare
- $3 \longrightarrow 4$: refroidissement isochore
- $4 \longrightarrow 1$: détente isobare

Analyser ce cycle en utilisant les instructions suivantes:

1. Déterminer le volume V_2 en termes soit du volume V_1 et des pressions p_1 et p_2, soit du volume V_3 et des températures T_2 et T_3.
2. Déterminer la chaleur échangée Q_{23} durant la compression isobare.
3. Déterminer la variation d'entropie ΔS_{23} durant la compression isobare.

Problème IV Cycle de Lenoir

Le cycle Lenoir est un modèle de fonctionnement d'un moteur à combustion qui a été breveté par Jean Joseph Etienne Lenoir en 1860. Ce cycle est défini par trois processus réversibles :

- $1 \longrightarrow 2$ compression isochore
- $2 \longrightarrow 3$ détente adiabatique
- $3 \longrightarrow 1$ compression isobare

On suppose que le cycle est effectué sur un gaz parfait caractérisé par le coefficient $c = f/2$. Les valeurs suivantes de certaines variables d'état sont supposées connues : la pression p_1, les volumes V_1 et V_3, la température T_1 et le nombre de moles de gaz n. Analyser ce cycle en utilisant les instructions suivantes :

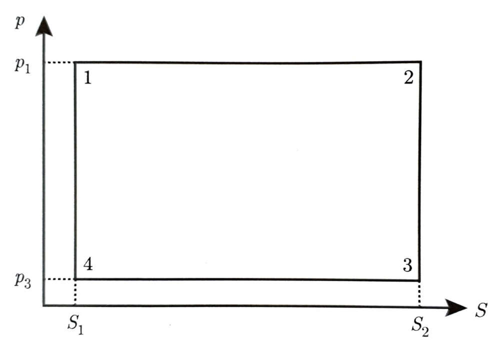
1. Esquisser les diagrammes (p, V) et (T, S) du cycle.
2. Déterminer la variation d'entropie ΔS_{12} du gaz durant le processus isochore $1 \longrightarrow 2$.
3. Exprimer la température T_2 en termes de la chaleur échangée Q_{12} durant le processus isochore $1 \longrightarrow 2$.
4. Déterminer la pression p_2 en termes de la pression p_1, le volume V_1 et la chaleur échangée Q_{12}.
5. Déterminer la pression p_3 en termes de la pression p_2 et des volumes V_2 et V_3.
6. Déterminer le travail W_{23} effectué durant le processus adiabatique $2 \longrightarrow 3$ et la chaleur Q_{23} échangée durant ce processus.
7. Déterminer le travail W_{31} effectué durant le processus isobare $3 \longrightarrow 1$ et la chaleur Q_{31} échangée durant ce processus.
8. Établir l'expression explicite du rendement de ce cycle η_L en termes des températures T_1, T_2 et T_3.

Problème V Cycle de Rankine

Un gaz parfait caractérisé par le coefficient $c = f/2$ et le coefficient $\gamma = (c+1)/c$ subit un cycle moteur de Rankine constitué de quatre processus réversibles :

- $1 \longrightarrow 2$: détente isobare
- $2 \longrightarrow 3$: détente adiabatique
- $3 \longrightarrow 4$: compression isobare
- $4 \longrightarrow 1$: compression adiabatique

Ainsi, le cycle est représenté par un rectangle dans un diagramme (p, S) :



Analyser ce cycle en utilisant les instructions suivantes :

1. Esquisser le diagramme (p, V) du cycle de Rankine pour un gaz parfait.
2. Déterminer les travaux effectués W_{12}, W_{23}, W_{34} et W_{41} et le travail effectué par cycle W en fonction des températures T_1, T_2, T_3 et T_4.
3. Déterminer la chaleur fournie au réservoir chaud $Q^+ = Q_{12}$.
4. Déterminer le rendement du cycle de Rankine pour un fluide parfait défini comme,

$$\eta_R = -\frac{W}{Q^+}$$

Problème VI Thermalisation et réversibilité

1. Rappeler la notion de transformation réversible.

2. On considère maintenant deux sources chaudes aux températures T1 et T2 et un corps indéformable en contact avec la source chaude T1, à l'équilibre thermodynamique. On le met en contact avec la source chaude T2 et on attend qu'il soit à l'équilibre thermodynamique. Cette transformation est-elle réversible ou irréversible ?

3. On considère un cycle de Stirling, avec ou sans régénérateur. Est-il réversible ?

Problème VII Coordonnées (T, S)

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

1. 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.

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

3. 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) ?

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

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

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