SÉRIE DE TRAVAUX DIRIGÉS N° 02
RAPPELS DE THERMODYNAMIQUE

EXERCICE 01 : (Travail personnel)

Calculer le travail fourni par un gaz parfait et la chaleur échangée, ainsi que son énergie interne lors des transformations suivantes :

1. Transformation isotherme.
2. Transformation isobare.
3. Transformation isochore.
4. Transformation adiabatique.

Quelle est la relation entre les capacités calorifiques molaires C_p et C_V dans le cas d'un gaz parfait.

EXERCICE 02 :

Un cylindre isolé thermiquement et fermé par un piston calorifugé de masse négligeable, contient 01 mole d'un gaz parfait monoatomique à la température $T_0 = 293\ K$. La pression initiale est par ailleurs égale à la pression atmosphérique.

1. Calculer le volume V_0 occupé par le gaz.
2. Par l'intermédiaire d'une résistance placée à l'intérieur du cylindre, on fournit au gaz une quantité de chaleur $Q = 100\ J$, ce qui provoque un déplacement du piston. On note (p_1, V_1, T_1) l'état d'équilibre final du gaz.

a. Justifier que p_1 soit égale à la pression atmosphérique p_0.

b. Exprimer le travail des forces de pression en fonction de p_0, V_0 et V_1 puis à l'aide des températures T_0 et T_1.

c. Déterminer la température T_1 à l'aide du premier principe de la thermodynamique. Calculer alors le volume V_1.

d. Afin de calculer la variation d'entropie, on imagine une transformation isobare réversible entre les mêmes états précédents. Montrer que la variation élémentaire d'entropie, au cours de cette transformation fictive est donnée par $dS = \frac{5R}{2}\frac{dT}{T}$. En déduire ΔS.

3. A partir de l'état (p_1, V_1, T_1) précédent, on ramène le piston vers sa position initiale en procédant très lentement de telle sorte qu'on passe par une suite d'états d'équilibre thermodynamique.

a. Quelle est la nature de la transformation subie par le gaz ?

b. Donner l'état (p_2, V_2, T_2) du gaz à l'issue de cette transformation.

EXERCICE 03 :

Un récipient ouvert de forme cubique de côté $L = 1\,m$ est divisé en deux parties par une paroi horizontale mince, de masse négligeable, mobile sans frottement et autorisant les échanges de chaleur. La partie inférieure est remplie de dioxygène, assimilé à un gaz parfait. La partie supérieure contient sur une hauteur $d = 20\,cm$ de l'eau de masse volumique $\rho = 1\ kg/l$. On considère le liquide incompressible, les parois extérieures du récipient comme parfaitement adiabatiques et la pression ambiante $p_0 = 10^5\,Pa$ constante pendant la durée de l'expérience. Dans l'état initial, le gaz et l'eau sont à une température $T = 25\,°C$ et le gaz s'étend sur une hauteur $h = L/2$.

1. Déterminer la pression p du gaz et en déduire le nombre de moles n du dioxygène.
2. Par l'intermédiaire d'une résistance chauffante introduite dans l'eau, on élève la température à la valeur $T' = 30\,°C$.

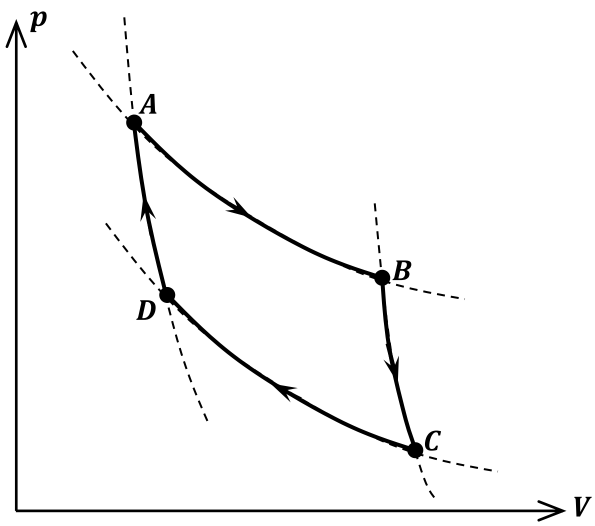
a. Rappeler les expressions des capacités calorifiques molaires du dioxygène à volume et à pression constante. Déterminer la quantité de chaleur fournie par la résistance à l'ensemble {eau, dioxygène} sachant que la capacité calorifique de l'eau à volume constant est égale à $4{,}18\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$.

b. Calculer le travail des forces de pression et la quantité de chaleur reçue par le gaz. Vérifier, après l'avoir énoncé, le premier principe de la thermodynamique pour le dioxygène.

c. Afin de calculer la variation d'entropie du gaz, on imagine un chemin fictif, réversible et isobare, entre les mêmes états précédents. Montrer que la variation d'entropie au cours d'une étape infinitésimale de cette transformation est donnée par $dS = \frac{7}{2}n.R\frac{dT}{T}$.
En déduire la variation d'entropie du gaz.

EXERCICE 04 : (Travail personnel)

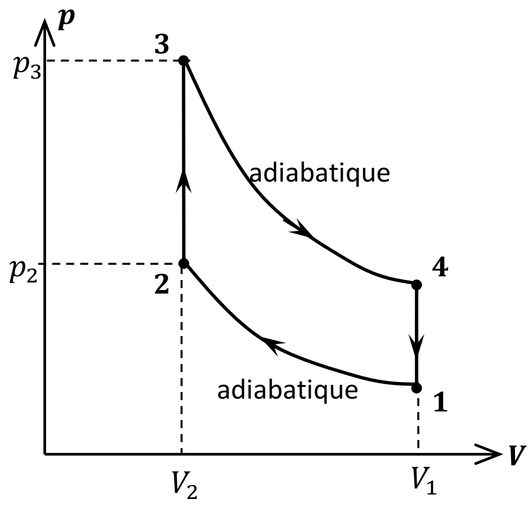
La figure ci-contre représente le cycle de Carnot dans le plan (p, V) fonctionnant entre deux températures $T_1 > T_2$. Dans ce problème, la machine fonctionne en utilisant un gaz parfait.



1. Quelles parties du cycle sont isothermes et quelles parties sont adiabatiques ?
2. Représenter le cycle de Carnot dans le plan (T, S). Indiquer quels points de cette figure correspondent aux points de la figure ci-contre.
3. Durant quelle partie du cycle a-t'on des échanges de chaleurs ? Spécifier si la chaleur est absorbée ou donnée. Calculer les quantités de chaleur absorbée Q_1 et donnée Q_2 en fonction des températures et des volumes.
4. Montrer que $\frac{V_B}{V_A} = \frac{V_C}{V_D}$.
5. Calculer le travail W fourni pendant un cycle complet. Conclusion.
6. Calculer le rendement de cette machine donné par $\eta = \left|\frac{W}{Q_A^B}\right|$. Tel que Q_A^B est la chaleur reçue durant le cycle.

EXERCICE 05 :

Dans la figure ci-contre, on fait subir à une mole de gaz parfait monoatomique un cycle dit " cycle air standard d'Otto". Les transformations $(1 \rightarrow 2)$ et $(3 \rightarrow 4)$ sont adiabatiques et toutes les transformations supposée réversibles.



1. Indiquer les chemins au cours desquels de la chaleur est absorbée ou évacuée. Justifiez.
2. Calculer les quantités de chaleur absorbée et évacuée en fonction de T_1, T_2, T_3 et T_4.
3. Quels sont les chemins pour lesquels il y a échange d'énergie sous forme de travail ? précisez les quantités (en fonction de T_1, T_2, T_3 et T_4) pour chacun d'eux.
4. Calculez le rendement du travail défini par :

$$\eta = \left|\frac{\text{travail fourni par le moteur}}{\text{chaleur absorbée}}\right|$$

Exprimer η en fonction de V_1 et V_2. Quelle relation doit exister entre V_1 et V_2 pour donner un rendement de 90% ? Est-ce possible pour une voiture réelle ?

EXERCICE 06 : (Travail personnel)

Un cylindre fermé par un piston mobile sans frottement, contient $n = 0{,}05\, mole$ d'un gaz parfait monoatomique. Le cylindre étant un très bon conducteur thermique, le gaz est en contact thermique avec le milieu ambiant qui joue le rôle d'un thermostat de température T_0. On fait alors décrire au gaz un cycle constitué des transformations suivantes :

i. Une compression adiabatique réversible au cours de laquelle le contact thermique avec le milieu est supprimé ; le gaz passe de l'état A $(p_A = 10^5\, Pa\,,\ V_A = 1{,}2\, l\,,\ T_A = T_0)$ à un état B caractérisé par une température $T_B = 410{,}6\, K$.
ii. Un refroidissement isochore au contact du milieu ambiant afin de revenir à la température T_0 dans l'état C.
iii. Une détente isotherme réversible au contact du milieu ambiant qui me fait revenir à l'état initial.

1. Calculer la température T_0.
2. Déterminer les valeurs du volume, puis de la pression en B et C.
3. Quelle est la quantité de chaleur Q_A^B échangée lors de la transformation $A \rightarrow B$? En déduire le travail échangé W_A^B.
4. Quel est le travail W_B^C correspondant à la transformation $B \rightarrow C$? En déduire la quantité de chaleur échangée Q_B^C.
5. Au cours de la transformation $C \rightarrow A$, montrer que la travail échangé dans une étape élémentaire est donné par $\delta W = -n.R.T_0 \frac{dV}{V}$. Calculer alors, le travail total échangé W_C^A et la quantité da chaleur Q_C^A.
6. Préciser les variations d'entropie $\Delta S_{A \rightarrow B}$ et $\Delta S_{C \rightarrow A}$ qui accompagnent les transformations $A \rightarrow B$ et $C \rightarrow A$. quelle est la variation d'entropie sur l'ensemble du cycle ? En déduire la variation d'entropie $\Delta S_{B \rightarrow C}$ lors de l'étape $B \rightarrow C$ du cycle. Le cycle peut-il être décrit en sens inverse ?