Renforcement physique
Premier principe

- Le niveau de difficulté en calcul est représenté par l'échelle
- Le niveau d'astuce à mettre en œuvre est représenté par l'échelle
- Le nombre de connaissances transversales en physique à mettre en œuvre est représenté par l'échelle

Exercice 1 : Travail au cours d'une transformation isotherme réversible

1. Calculer le travail échangé par une mole de gaz parfait dans une transformation isotherme réversible à la température T_1, au cours de laquelle le volume passe de la valeur V_1 à la valeur V_2.
2. Même question dans le cas de n moles de gaz obéissant à l'équation de Van Der Waals :

$$\left(P + \frac{n^2}{V^2}a\right)(V - nb) = nRT$$

   Trouver ensuite une expression approchée du travail dans le cas des basses pressions (on a alors $b << V$).

Exercice 2 : Transformation monotherme réversible ou irréversible

Un cylindre vertical de section $S = 200\,\mathrm{cm}^2$ est fermé par un piston horizontal de masse négligeable, mobile sans frottements. Une masse $m = 4\,\mathrm{g}$ d'hélium (considéré comme un gaz parfait) est initialement enfermée dans le cylindre, à la pression $P_0 = 1\ atm$. Le cylindre baigne dans un thermostat à la température $T_0 = 300\,\mathrm{K}$. Les parois du cylindre et du piston sont perméables à la chaleur.

1. Calculer la hauteur h_0 du volume occupé par le gaz.
2. On applique progressivement une surcharge de 100 kg sur le piston.
   (a) Cette transformation est-elle isotherme ?
   (b) Expliquer pourquoi la transformation est réversible ?
   (c) Calculer la valeur de la hauteur h_1 du volume occupé par le gaz dans l'état final.
   (d) Calculer le travail reçu par le gaz.
3. On revient à l'état initial, et on applique brutalement la surcharge de 100 kg sur le piston, puis on attend que l'équilibre en température se fasse.
   (a) Cette transformation est-elle isotherme ?
   (b) Expliquer pourquoi la transformation est irréversible ?
   (c) Que vaut la hauteur h_1' du volume occupé par le gaz dans l'état d'équilibre final ?
   (d) Calculer le travail reçu par le gaz
4. A.N. $M_{He} = 4\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$ et $g = 9{,}8\,\mathrm{m\,s^{-2}}$

Exercice 3 : Préparation d'un thé

On utilise une bouilloire électrique d'une puissance de 1200 W pour préparer trois verres de thé de contenance (3×15 cl). Combien de temps faut-il pour réchauffer l'eau de 20 °C à 90 °C. On donne $c_p(eau) = 4185\,\mathrm{J\,K^{-1}\,kg^{-1}}$.

Exercice 4 : L'indice adiabatique

On définit $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ l'indice adiabatique.

1. Déterminer l'expression de C_v en fonction de γ pour un gaz parfait.
2. Déterminer l'expression de C_p en fonction de γ pour un gaz parfait.
3. Calculer la valeur de γ pour un gaz parfait monoatomique.

Exercice 5 : Les lois de Joule

1. Quelle est la définition d'un gaz parfait ?
2. L'énergie interne d'un gaz parfait ne dépend que de l'une des trois variables d'état P, V et T. Laquelle ?
3. On considère une transformation d'un système contenant n moles de gaz parfait passant d'un état $A(P_A, V_A, T_A)$ à un état $B(P_B, V_B, T_B)$. On introduit $C_v = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V$ la capacité thermique à volume constant. En introduisant un état intermédiaire $C(P_C, V_C, T_C)$, montrer la première loi de Joule $U_B - U_A = C_V(T_B - T_A)$ où c_V est la capacité thermique molaire à volume constant.
4. On chauffe un récipient contenant 6 g de dihydrogène (gaz supposé parfait) ; la température s'élève de 15 °C à 30 °C. Calculer la variation d'énergie interne au cours de l'échauffement sachant que $\gamma = 1{,}4$
5. En introduit $C_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P$ la capacité thermique à volume constant où H est la fonction enthalpie donnée par $H = U + PV$. Montrer à l'aide d'un raisonnement identique à celui de la question 3 que $H_B - H_A = C_p(T_B - T_A)$.
6. Déduire de la définition de H la loi de Mayer $C_p - C_v = nR$.

Exercice 6 : Cycle de Lenoir

On considère une mole de gaz parfait dans l'état initial (P_0, V_0, T_0). Ce gaz subit les transformations réversibles suivantes.

- Une détente isobare qui double son volume.
- Une compression isotherme qui le ramène à son volume initial.
- Un refroidissement isochore qui le ramène à son état initial.

1. Calculer la température à laquelle s'effectue la transformation isotherme en fonction de T_0. Calculer la pression maximale atteinte au cours du cycle en fonction de P_0. Représenter le cycle en coordonnées de Clapeyron (P, V).
2. Définir une transformation réversible.
3. Rappeler la définition du travail des forces pressantes reçu par un système.
4. Rappeler l'énoncé du premier principe pour un système fermé.
5. Calculer le travail reçu par le gaz au cours des trois étapes et pour le cycle entier.
6. Calculer la variation d'énergie interne du gaz au cours des trois étapes et pour le cycle entier.

7. En déduire le transfert thermique au cours des trois étapes et pour le cycle entier.
8. Rappeler l'énoncé de la deuxième loi de Joule.
9. Calculer la variation d'enthalpie lors de la transformation isobare et la comparer avec le transfert thermique.

Exercice 7 : Transformation adiabatique et réversible d'un gaz parfait

1. Pour une transformation quelconque d'un gaz parfait, écrire la différentielle dT de la température considérée comme une fonction de P et V. Exprimer la différentielle dU de l'énergie interne en fonction de R, C_V, V, P, dV et dP.
2. En utilisant le premier principe, ainsi que la loi de Mayer, montrer que, si la transformation est adiabatique et réversible, la valeur du produit PV^γ reste constant au cours de la transformation.
3. En déduire la relation vérifiée par la transformation adiabatique réversible d'un gaz parfait en variable T, V.

Exercice 8 : Chauffage du lait

On dispose d'un verre de lait froid a la température $T_f = 10\,°\mathrm{C}$ et un verre d'eau chaude à la température $T_C = 50\,°\mathrm{C}$. On considère la même masse $m = 250\,\mathrm{g}$ de lait et d'eau. On suppose que ces deux liquides ont la même capacité thermiques.

1. On met les deux masses d'eau et de lait en contact thermique. Calculer la température finale en supposant que les échanges de chaleurs avec l'air ambiant sont négligeables.

Exercice 9 : Rendement théorique d'un moteur à essence

On peut représenter approximativement le fonctionnement d'un moteur à essence en considérant qu'un fluide parfait (essentiellement de l'air) parcourt de façon réversible un cycle, appelé cycle de Beau de Rochas (ou cycle d'Otto), composé de 4 phases :

— État 1 $\rightarrow$ État 2 : compression adiabatique (compression du mélange air-essence).
— État 2 $\rightarrow$ État 3 : échauffement isochore (combustion).
— État 3 $\rightarrow$ État 4 : Détente adiabatique (détente des gaz brûlés).
— État 4 $\rightarrow$ État 1 : Refroidissement isochore (échappement).

1. Représenter le cycle dans le diagramme de Clapeyron.

On souhaite étudier le rendement de ce cycle moteur.

2. Soit C_V la capacité calorifique (à volume constant) du fluide. Exprimer, en fonction de C_V et des températures $T_1,\ T_2,\ T_3,\ T_4$, la chaleur Q reçue par le fluide pendant la phase $2 \rightarrow 3$, la chaleur reçue par le fluide pendant la phase $4 \rightarrow 1$ et le travail W reçue par le fluide pendant un cycle.
3. Exprimer le rendement du moteur $\eta = -\frac{W}{Q}$ en fonction des températures $T_1,\ T_2,\ T_3,\ T_4$.
4. On donne le taux de compression $r = \frac{V_1}{V_2}$. Exprimer les rapports $\frac{T_2}{T_1}$ et $\frac{T_3}{T_4}$ en fonction de r et de γ.
5. Exprimer le rendement en fonction de r et γ.

Pour des températures extrêmes T_1 (température ambiante) et T_3 (température en fin de combustion) données, on veut obtenir un travail W aussi grand que possible en ajustant le taux de compression r.

6. Exprimer le travail W en fonction de $C_V,\ \gamma,\ T_1,\ T_3$ et r.
7. Exprimer en fonction de γ et $\frac{T_3}{T_1}$, la valeur de r pour laquelle W est maximum.
8. Pour cette valeur de r, exprimer le rendement η en fonction de $\frac{T_1}{T_3}$.
9. A.N. $T_1 = 300\,\mathrm{K}$, W est max pour $r = 10$. Calculer T_2 et T_3 avec $\gamma = \frac{7}{5}$.

Exercice 10 : Détente de Joule-Gay Lussac (d'après CCP)

Soit une masse m d'un gaz réel satisfaisant à l'équation d'état :

$$P(V - b) = aT$$

avec $b = 5 \times 10^{-6}\,\mathrm{m}^3$. On donne deux états de cette masse $P_2 = 50\,\mathrm{bar}$ pour $V_2 = 4{,}57 \times 10^{-4}\,\mathrm{m}^3$ et $P_1 = 50\,\mathrm{bar}$ pour V_1.

1. Exprimer les coefficients thermoélastiques α et χ_T. Comparer avec le gaz parfait.
2. Un tel gaz est appelé gaz de Joule car il vérifie la première loi de Joule. Rappeler la première loi de Joule.
3. Ce gaz est situé dans un cylindre rigide adiabatique à deux compartiments inégaux, dont il occupe le compartiment (1), le vide régnant dans le compartiment (2). On perce un trou entre les deux compartiments. Le gaz passe des conditions initiales P_1, V_1, T_1 aux conditions finales P_2, V_2, T_2 où V_2 est le volume total.
   (a) Calculer la variation d'énergie interne.
   (b) En déduire T_2 littéralement puis V_1 numériquement.

Exercice 11 : Transformations couplées (d'après Mines)

Un piston sépare le volume d'un cylindre en deux compartiments A et B. Le cylindre et le piston sont parfaitement calorifugés. Chaque compartiment contient la même quantité n d'un gaz parfait de coefficient $\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{5}{3}$. On donne $V = V_A + V_B = 5{,}00 \times 10^{-3}\,\mathrm{m}^3$ et $V_B = 4V_A$ à l'état initial. De plus, $T_A = T_B = T_0 = 289\,\mathrm{K}$ et $P_A = P_0 = 24 \times 10^5\,\mathrm{Pa}$.

1. Calculer la quantité de moles contenue dans A et B.
2. On débloque le piston (travail supposé négligeable) et ce dernier se déplace sans frottement jusqu'à l'équilibre mécanique. Etablir la relation entre les variations d'énergie interne ΔU_A et ΔU_B du gaz dans A et B.
3. A l'état final, l'écart de température $T'_B - T'_A$ est de $130\,\mathrm{K}$. Montrer que $T'_B = 354\,\mathrm{K}$ et $T'_A = 224\,\mathrm{K}$.
4. Calculer le volume V'_A et la pression P'_A du gaz dans A.