Travaux Dirigés de T_2

Conseils pour ce TD :

- Le cours doit être connu, les applications directes qui y figurent refaites.
- Il ne faut surtout pas appliquer des formules à tord et à travers, posez-vous systématiquement les questions suivantes :
  - ⋆ Sur quel système suis-je en train de travailler (phase condensée, gaz parfait ...) ?
  - ⋆ Quel est le type de transformation qu'il subit ?
- Même si cela n'est pas demandé explicitement par l'énoncé, dans le cas d'une transformation d'un gaz parfait, tracer systématiquement l'allure du graphe $p(V)$ (diagramme de Watt).
- Dans le cas d'une suite de transformations, il peut être souvent utile de résumer les données de l'énoncé dans un tableau.
- Dès que c'est possible, utiliser le premier principe (en général, l'énoncé usuel suffit) ou la variation d'enthalpie pour déterminer Q ou W plutôt que le calcul de $W = \int \delta W$ et $Q = \int \delta Q$.

Exercice 1 : Compressions d'un GP

Un gaz parfait est enfermé dans un cylindre de volume $V_1 = 5$ L à l'intérieur duquel peut coulisser (sans frottement) un piston de masse négligeable.
À l'extérieur du piston, la température est $T_{\text{ext}} = 293$ K, la pression est $P_{\text{ext}} = 1$ atm.
La paroi du cylindre étant parfaitement diatherme (diathermane), à l'équilibre la température du gaz est toujours $T_{\text{ext}} = 293$ K. Au départ, la pression du gaz est $p = P_1 = P_{\text{ext}}$.

1. En appuyant sur le piston, on augmente très lentement la pression jusqu'à $P_2 = 10$ atm.
   Calculer T_2 , V_2 , ΔU et Q.
2. On passe maintenant instantanément de P_1 à P_2 puis on attend l'équilibre qui interviendra forcément après quelques oscillations du piston si on considère la viscosité du gaz.
   Calculer T_2' , V_2' , $\Delta' U$ et Q'.

On rappelle : 1 atm $= 1{,}013.10^5$ Pa.

Exercice 2 : Cycle d'un GPM

Un réservoir contient un volume V_0 d'un gaz parfait monoatomique à une température T_0 et une pression p_0.
On réalise la suite des transformations quasi statiques suivante :

$$\begin{tikzcd}
\text{État } 0 \arrow[r, "\text{Échauffement}", "\text{isochore (a)}"'] & \text{État } 1\ (T_1) \arrow[r, "\text{Détente}", "\text{adiabatique (b)}"'] & \text{État } 2\ (T_0) \arrow[ll, bend left, "\text{Compression isotherme (c)}"]
\end{tikzcd}$$

1. Représenter le cycle réalisé dans le diagramme de Watt $p(V)$.
2. Préciser pour chaque transformation (a), (b), (c) le travail échangé, le transfert thermique et la variation d'énergie interne du gaz parfait en fonction des seules données p_0 , V_0 , T_0 et T_1.

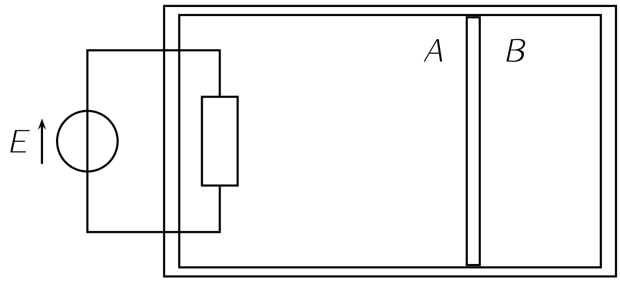
Exercice 3 : Calorimétrie

Un calorimètre contient une masse $m_1 = 95$ g d'eau à 20°C, on ajoute $m_2 = 71$ g d'eau à 50°C. On travaille à pression constante.

1. Quelle serait la température finale T_f si on négligeait la capacité thermique du calorimètre ?
2. La température d'équilibre observée est de 31,3°C. En déduire la valeur de la capacité thermique C du calorimètre.
3. Le même calorimètre contient maintenant 100 g d'eau à 15°C. On y plonge un échantillon métallique de 25 g à la température de 95°C. La température d'équilibre étant 16,7°C, calculer la capacité thermique massique massique du métal.

Donnée : Capacité thermique massique de l'eau : $c_o = 4{,}18$ J.g^{-1}.K^{-1}.

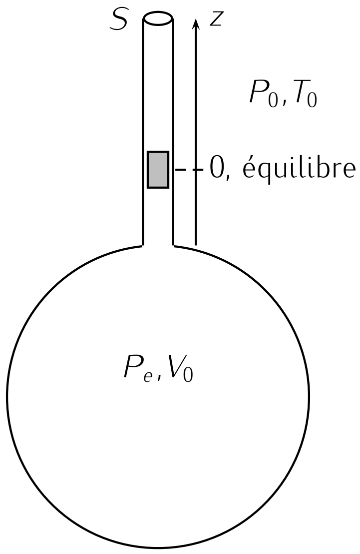
Exercice 4 : Transformations couplées



On considère un cylindre rigide aux parois adiabatiques séparé en deux compartiments A et B par un piston adiabatique mobile sans frottement. Ces deux compartiments contiennent le même gaz parfait dont on connaît l'exposant adiabatique γ supposé constant. Un conducteur ohmique de résistance R et de capacité thermique négligeable est placé dans A.
L'état initial correspond à $V_{A0} = V_{B0} = V_0$, $p_{A0} = p_{B0} = p_0$, $T_{A0} = T_{B0} = T_0$. On fait passer un courant I dans R sous une tension E pendant un temps τ. Le gaz A passe alors lentement de V_{A0} à $V_A = 2V_B$.

1. Caractériser les transformations qui affectent les gaz A, B, $\{A + B\}$ puis les systèmes $\{R + A\}$ et $\{A + B + R\}$.
2. Quels sont les paramètres d'état (T_A, p_A, V_A, T_B, p_B et V_B) des gaz dans l'état final.
3. Quels sont les échanges d'énergie (travail et transfert thermique) entre A et B ?
4. Quels sont les échanges d'énergie entre le résistor et A ?

Exercice 5 : Mesure expérimentale de γ.



On considère un récipient fermé par un piston M de masse m, mobile sans frottement dans le col cylindrique vertical de section S.

Le récipient contient n moles d'un gaz parfait dont on cherche à déterminer l'exposant adiabatique γ constant.

À l'extérieur, l'air est à la pression $P_0 = Cte$ et à l'équilibre, le volume intérieur du récipient est V_0.

1. Déterminer P_e, la valeur de la pression à l'intérieur du récipient quand le piston est à l'équilibre. On appliquera la première loi de Newton à M lors de l'équilibre.
2. Le piston est déplacé de sa position d'équilibre, on notera $P = P_e + dP$ la pression dans le récipient à un instant quelconque avec $dP \ll P_e$ et toutes les transformations seront considérées comme adiabatiques et réversibles.
   (a) Exprimer dP en fonction de dV puis de z, la position du piston par rapport à sa position d'équilibre. $V \simeq V_0$.
   (b) En utilisant le principe fondamental de la dynamique (deuxième loi de Newton), en déduire l'équation du mouvement du piston et la mettre sous la forme $\ddot{z} + \omega_0^2 z = 0$
   (c) En déduire une méthode pratique de mesure de γ.

Exercice 6 : Chauffage d'un local

Un local est chauffé à l'aide d'un radiateur électrique d'une puissance $\mathcal{P}_{\text{rad}} > 0$.
La pression atmosphérique est constante et la température extérieure est T_{ext} K (12°C).
Le local a une capacité thermique C_p indépendante de la température.
Il existe des fuites thermiques. La puissance dissipée dans ces fuites est proportionnelle à l'écart entre la température T de la pièce et la température extérieure : $\mathcal{P}_{\text{fuite}} = \frac{\delta Q_{\text{fuite}}}{dt} = \frac{T - T_{\text{ext}}}{R_{\text{th}}}$ où R_{th} est la résistance thermique des parois.

1. Établir l'équation différentielle à laquelle satisfait la fonction $T(t)$ quand le chauffage du local n'est pas actif. Donner la solution littérale de cette équation pour une température initiale $T_1 > T_{\text{ext}}$. Quelle est, sans chauffage, la valeur limite de la température de la pièce ?
2. Montrer que la température de la pièce tend vers une limite T_{lim} quand le chauffage est en fonctionnement permanent.
3. Établir l'équation différentielle à laquelle satisfait la fonction $T(t)$ quand le chauffage du local est actif. Donner la solution littérale de cette équation pour une température initiale $T_0 > T_{\text{ext}}$.
4. Représenter graphiquement l'allure des variations de température au cours d'un cycle de chauffage si le radiateur se déclenche dès que $T \leq T_0$ avec $T(t)$ décroissante et s'arrête dès que $T \geq T_1$ avec $T(t)$ croissante.

Exercice 7 : Anémomètre

D'après CCINP PC 2022

Lorsqu'on veut mesurer la vitesse de l'air à l'intérieur des habitations, par exemple pour contrôler le bon fonctionnement d'un système de ventilation, on utilise préférentiellement un anémomètre à fil chaud. Son principe est le suivant : un fil électrique parcouru par un courant s'échauffe par effet Joule, tandis qu'il est refroidi par l'air circulant autour du fil. Plus l'air a une vitesse élevée, plus l'effet de refroidissement est important.

L'anémomètre à fil chaud est un fil électrique, de diamètre $d = 1\ \mu$ m et de longueur $\ell = 1$ mm, est parcouru par un courant continu d'intensité I. Sa résistance R_f dépend de la température T_f du fil, supposée uniforme dans tout le fil : $R_\text{f} = R(T_\text{f}) = R_0(1 + \gamma(T_\text{f} - T_0))$, où T_0 est la température de l'air loin du fil, R_0 la résistance du fil à T_0, et $\gamma = 5 \cdot 10^{-3}\ \text{K}^{-1}$ une constante caractéristique du matériau dont est constitué le fil.
L'air s'écoule à la vitesse U perpendiculairement au fil. Sur l'ensemble des modes de transfert thermique possibles entre le fil et son environnement, c'est la convection forcée par l'écoulement de l'air qui est le mode prédominant. Ainsi, le transfert thermique cédé par le fil à son environnement pendant la durée dt est donné par la loi de Newton :

$$\delta Q_\text{cédé} = h(T_\text{f} - T_0)\, S_\text{lat}\, dt$$

avec S_lat la surface latérale du fil en contact avec l'air et h le coefficient de transfert thermique de surface. On traduit l'efficacité de la convection forcée avec la vitesse U de l'écoulement par la relation :

$$h = a_0 + b_0\sqrt{U}$$

où a_0 et b_0 sont deux constantes.

1. Le fil est en platine, de résistivité $\rho_\text{Pt} = 1{,}11 \cdot 10^{-7}\Omega \cdot \text{m}$ à $T_0 = 300$ K. Calculer R_0.
2. On se place en régime permanent : le fil est à la température T_f constante. En appliquant le premier principe de la thermodynamique sur le fil, établir la loi de King :

$$\frac{R_\text{f} I^2}{R_\text{f} - R_0} = K\left(a_0 + b_0\sqrt{U}\right)$$

   dans laquelle K est à exprimer en fonction de γ, ℓ, d et R_0.
3. L'anémomètre à fil chaud est utilisé en maintenant la température T_f constante. Pour permettre cela, un système de rétroaction adapte l'intensité dans le fil en fonction des variations de vitesse de l'écoulement. Comment doit varier l'intensité lorsque la vitesse de l'écoulement augmente ? Justifier brièvement.
4. On mesure la tension E_f aux bornes du fil (en convention récepteur). Établir la relation entre E_f et U, en fonction de R_f, R_0, K, a_0 et b_0.