

TD – Échanges d'énergie, le 1^{er} principe

Remarque : exercice avec \star : exercice particulièrement important, à maîtriser en priorité (de même que les exemples de questions de cours des “ce qu'il faut savoir faire”) | [●○○] : difficulté des exercices

I Étude de différentes compressions _____ \star | [●○○]

Cet exercice étudie la compression d'un gaz, en partant d'une pression $p_0 = 1.0$ bar, d'une température $T_0 = 20^\circ\text{C}$, d'un volume $V_0 = 50$ cm³, et allant dans l'état final jusqu'à un volume 20 fois plus petit ($V_f = V_0/\alpha$ avec $\alpha = 20$). Il s'agit par exemple des conditions de compression de l'air dans le cylindre d'un moteur diesel.

L'objectif est donc de déterminer la pression p_f et la température T_f dans l'état final.

Pour ceci nous avons besoin d'hypothèses simplificatrices : le gaz est modélisé par un gaz parfait diatomique (exposant $\gamma = 1,4$), et on suppose que la compression vérifie certaines hypothèses : elle est soit adiabatique et réversible, soit adiabatique et monobare, soit isotherme et réversible, soit isotherme et monobare. Nous verrons qu'à chaque fois T_f et p_f sont différents. Nous calculerons aussi le travail et la chaleur reçus par le gaz.

On rappelle que pour n moles de gaz parfait, on a $C_V = \frac{nR}{\gamma - 1}$. On donne la constante des gaz parfaits : $R = 8.314$ J · mol⁻¹ · K⁻¹.

1 - Compression adiabatique réversible :

a - Quelles précautions expérimentales prendre pour réaliser la compression ? (en terme de vitesse de la transformation, de pression extérieur, etc.)

b - Exprimer puis calculer p_f puis T_f .

c - Exprimer puis calculer le transfert thermique et le travail reçus par le gaz.

d - Représenter, lorsque c'est possible, l'évolution dans un diagramme p - V .

Reprendre ces quatre questions pour une compression

2 - isotherme réversible

3 - isotherme monobare

Étudions les deux derniers cas.

4 - Comparaisons des cas 2 et 3 :

a/ Que peut-on dire des états initiaux et finaux des cas 2 et 3 ?

Qu'en conclure sur les variations des grandeurs d'état ? Est-ce bien le cas ?

En revanche, que remarquez-vous concernant les transferts d'énergie W et Q ? Est-ce normal?

b/ Pour quelle transformation faut-il fournir le plus de travail?

Compression adiabatique monobare _____ [●●●]

Enfin, on étudie le cas de la compression adiabatique monobare.

Cette fois on considère une compression d'un rapport $\alpha = 2$.

5 - Exprimer p_f , T_f , ΔU , W et Q .

II Résistance chauffante dans une enceinte — [●●○]

On considère une enceinte calorifugée fermée et indéformable. La pression extérieure est notée p_0 et vaut 1.0 bar.

L'enceinte contient un gaz monoatomique, modélisé par le modèle du gaz parfait. Initialement, le volume de l'enceinte est $V_0 = 10.0$ L, la température et la pression du gaz $T_0 = 20^\circ\text{C}$ et p_0 .

Il y a dans l'enceinte une résistance $R = 1.0$ k Ω , alimentée par un générateur de courant idéal, de courant $I = 1.0$ A.

On met en marche le générateur pendant 1.0 heure.

- 1 - Donner l'expression de la puissance thermique dissipée par la résistance.
- 2 - Déterminer l'expression de la température finale atteinte.
- 3 - Reprendre la question précédente dans le cas où l'enceinte n'est pas indéformable, mais fermée par un piston qui est libre de coulisser sans frottements.

On donnera alors également la valeur du volume final.

III Calorimétrie _____ ★ | [●○○]

La calorimétrie est un ensemble de méthodes expérimentales permettant de mesurer les capacités thermiques des différents matériaux.

On utilise un calorimètre (image ci-contre), qui est un récipient calorifugé du mieux possible. Un exemple de protocole, dont l'objectif est de déterminer la capacité thermique massique du fer c_{fer} , est le suivant :



- On remplit le calorimètre avec un volume d'eau $V_e = 500$ mL (correspondant à une masse m_e). On attend que la température se stabilise et on la mesure : $T_1 = 20^\circ\text{C}$.

- On chauffe un morceau de fer de masse $m_f = 400 \text{ g}$ à une température $T_f = 80 \text{ °C}$. On le place dans l'eau du calorimètre.
- On attend que la température se stabilise et on la relève : $T_2 = 24,6 \text{ °C}$.

On donne la capacité thermique massique de l'eau $c_{\text{eau}} = 4,2 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

On prendra en compte le fait que le calorimètre absorbe lui-même une partie de la chaleur apportée par le morceau de fer : il possède une capacité thermique équivalente à celle de 10 g d'eau (on dit que sa "masse en eau" est $\mu = 10 \text{ g}$), soit donc $C_{\text{calo}} = \mu \times c_{\text{eau}} = 42 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$.

- 1 - Que peut-on supposer sur la transformation ?
- 2 - Établir une relation entre T_1 , T_2 , les masses m_f et m_e , C_{calo} , c_{fer} et c_{eau} .
- 3 - Isoler c_{fer} et faire l'application numérique.

IV Élévation de température par frottements [●●○]

Résolution de problème

Je me frotte les mains pour me réchauffer. De combien de degrés ceci élève-t-il leur température ?

Indications et données :

- On considère pour simplifier qu'une seule des deux mains bouge. La force exercée par la main mobile est de l'ordre de $1 \text{ kg} \times g \simeq 10 \text{ N}$.
- Épaisseur des couches superficielles de la peau (épiderme et derme) : $\simeq 3 \text{ mm}$. Capacité thermique massique de ces couches : $c \simeq 3 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$, et masse volumique : $\rho \simeq 1 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- On détaillera bien les systèmes auxquels on applique le 1^{er} principe, et les hypothèses effectuées.

V Mélange d'eau _____ [●○○]

Je viens de préparer 50 cl de café soluble à partir d'eau bouillante. Je voudrais le boire tout de suite, mais il est trop chaud.

- 1 - J'ajoute 20 cl d'eau du robinet à 20 °C . On suppose que cet ajout est assez rapide. Déterminer la température finale du mélange en effectuant les hypothèses nécessaires sur la transformation. On prendra $c = 4.2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ pour l'eau liquide.
- 2 - Pour pouvoir boire sans se brûler, il faut que la température du breuvage ne dépasse pas les 40 °C . Quelle quantité d'eau du robinet faut-il ajouter ?

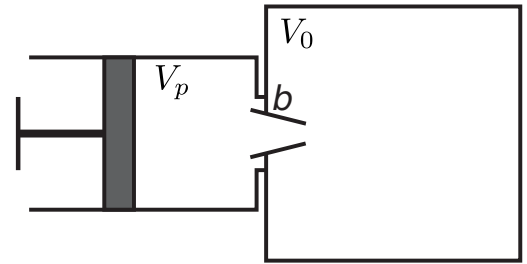
DM 18 – Façon optimale de pomper

On s'intéresse à nouveau au gonflage d'un pneu de vélo à l'aide d'une pompe manuelle. On s'intéresse ici uniquement au premier coup de pompe, décrit ci-contre, pendant lequel la soupape (b) reste toujours ouverte.

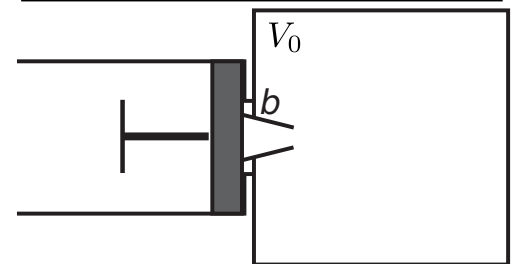
Le volume de la pompe est $V_p = 2,0\text{ L}$, celui de la chambre à air est $V_0 = 5,0\text{ L}$ (constant), et l'ensemble est à $T_0 = 300\text{ K}$.

On note 2 l'état final. On envisage deux moyens de réaliser cette compression :

- Soit de façon très lente. Dans ce cas les échanges thermiques ont le temps de s'établir et la température reste constante égale à T_0 .
- Soit de façon brutale. Dans ce cas la température du gaz va augmenter et il faudra, après la compression, attendre qu'elle redescende à T_0 .



état 1, volume $V_1 = V_0 + V_p$



état 2, volume $V_2 = V_0$

On suppose dans les deux cas la transformation mécaniquement réversible, et le gaz est modélisé par un gaz parfait d'indice adiabatique $\gamma = 1,4$.

- 1 - Dans le premier cas, que valent la température et le volume final? Donner ensuite l'expression de la pression finale p_2 en fonction de p_0 , et $\alpha = V_p/V_0$, et sa valeur.
- 2 - Faire de même dans le cas 2. (indice : justifier que c'est identique au cas 1)
- 3 - Dans le cas 1 : donner l'expression du travail à fournir au gaz pour le comprimer en fonction de p_0 , V_1 et $\alpha = V_p/V_0$.
- 4 - Dans le cas 2 il faut décomposer la transformation en deux : de l'état 1 à un état 1' il s'agit de la compression où le volume passe de $V_1 = V_0 + V_p$ à $V_{1'} = V_0$; puis de l'état 1' à l'état 2 le volume ne change plus et le gaz se refroidit jusqu'à T_0 .
 - a - Expliquer pourquoi l'étape $1 \rightarrow 1'$ peut être supposée adiabatique et réversible.
 - b - Calculer la température atteinte en 1' (il faut avoir fait le chapitre 3).
 - c - Calculer le travail à fournir au gaz durant l'évolution $1 \rightarrow 1'$, puis durant $1' \rightarrow 2$.
- 5 - Tracer sur un même diagramme $p-V$ les deux cas. Pouvait-on prédire le fait que le travail à fournir est plus grand pour une des deux compressions? À quoi a servi le surplus de travail fourni dans la compression qui en nécessite le plus?

En conclusion, vaut-il mieux être brutal ou lent?