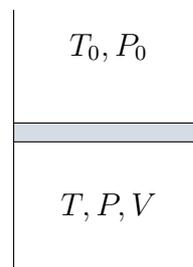


DM15 – Thermodynamique

Exercice 1 – Comparaison entre deux transformations

On considère un système composé d'une quantité de matière n de gaz parfait diatomique enfermée dans une enceinte. Cette enceinte est fermée par un piston de surface S et dont on négligera la masse, pouvant coulisser sans frottement. L'ensemble est situé dans l'atmosphère, dont on note T_0 et P_0 la température et la pression. On note I l'état initial.



L'objectif est de comparer deux transformations du système : l'une brutale et l'autre lente. *Donnée : constante des gaz parfaits $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; capacité thermique à volume constant d'un gaz diatomique $C_v = 5nR/2$.*

Transformation brutale

Commençons par la transformation brutale : on lâche brusquement une masse M sur le piston, qui se stabilise en un état intermédiaire 1.

1. Le meilleur modèle pour la transformation est-il isotherme ou adiabatique ? Peut-on en déduire un résultat sur la température T_1 ?
2. Déterminer la pression P_1 .
3. Établir le bilan énergétique de la transformation en explicitant chacun des termes.
4. En déduire les caractéristiques T_1, P_1, V_1 de l'état 1.

On observe qu'en fait l'état 1 n'est pas un réel état d'équilibre : le piston continue de bouger, mais beaucoup plus lentement, jusqu'à atteindre l'état 2 qui est l'état final.

5. Quel phénomène, négligé précédemment, est responsable de cette nouvelle transformation du système ?
6. Déterminer les caractéristiques T_2, P_2, V_2 de l'état 2.
7. Déterminer le travail reçu par le système, puis sa variation d'énergie interne et en déduire le transfert thermique reçu au cours de la transformation $1 \rightarrow 2$. En déduire le travail total et le transfert thermique total reçus au cours de la transformation brusque.

Transformation lente

Comparons maintenant à une transformation lente : la même masse M est lâchée très progressivement sur le piston, par exemple en ajoutant du sable « grain à grain ».

8. Comment qualifie-t-on une telle transformation ? Que peut-on en déduire sur la température du système au cours de la transformation ?
9. Déterminer la pression dans l'état final et en déduire le volume. Commenter.
10. Établir le bilan énergétique de la transformation en explicitant chaque terme. Comparer à la transformation brutale. Commenter.

Exercice 2 – Détente de Joule – Gay-Lussac

Au XIX^e siècle, James Joule et Joseph Gay-Lussac imaginent le dispositif suivant pour étudier les propriétés des gaz réels. Deux compartiments aux parois calorifugées et indéformables communiquent par un robinet, initialement fermé. Le compartiment (1), de volume V_1 , contient une quantité n de gaz à l'équilibre à la température T_1 . Le compartiment (2), de volume V_2 est initialement vide. On attend l'établissement d'un nouvel équilibre, caractérisé par la température T_f du gaz.

1. Montrer que l'énergie interne U du gaz ne varie pas au cours de la transformation. Cette propriété dépend-elle de la nature du gaz ?
2. Déterminer la température T_f dans le cas où le gaz est supposé parfait.

Avec de l'argon, on constate en réalité une baisse de la température du gaz $\Delta T = -5,4 \text{ K}$ pour $V_1 = V_2 = 1,0 \text{ L}$ et $n = 1,0 \text{ mol}$. L'argon est assimilé à un gaz réel de van der Waals dont l'énergie interne est donnée par :

$$U = nC_{v,m}T - \frac{an^2}{V},$$

où a est une constante positive appelée terme de cohésion.

3. Dans quelle limite retrouve-t-on l'énergie interne d'un gaz parfait ? Commenter.
4. Nommer la constante $C_{v,m}$, donner son interprétation physique ainsi que sa valeur pour l'argon.
5. Donner la dimension et l'unité de a .
6. Dédurre des observations expérimentales la valeur de a .

Donnée : constante des gaz parfaits $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Complément culturel

Un gaz réel de van der Waals est caractérisé par l'équation d'état

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

où a et b sont deux coefficients positifs introduits pour rendre compte des écarts du comportement des gaz réels par rapport au modèle du gaz parfait. Le coefficient a est le même que celui qui intervient dans l'expression de l'énergie interne du gaz réel et que l'on a déterminé précédemment.

- a est le **terme de cohésion** qui rend compte des interactions attractives entre les particules du gaz. Ces interactions sont d'autant plus fortes que les particules du gaz sont volumineuses : dans les CNTP, le comportement de l'hélium est plus proche de celui d'un GP, alors que le comportement de l'argon s'en éloigne sensiblement. En effet, un atome d'argon est plus gros qu'un atome d'hélium (cf. interactions de van der Waals). Le terme de cohésion a pour effet de réduire la pression du gaz par rapport au gaz parfait.
- b est le **covolume molaire**, qui rend compte du volume des particules non ponctuelles. Le volume disponible est celui de l'enceinte moins celui des particules, d'où $V - nb$.