Introduction à la thermodynamique

Difficulté d'analyse et compréhension, initiative requise ;
Difficulté technique et calculatoire ;
Exercice important.

Flasher ou cliquer pour accéder au corrigé

Se préparer

Applications de cours

Ces applications de cours sont des briques élémentaires des raisonnements à mener dans les exercices : les maîtriser est incontournable. Elles sont toutes traitées de manière exhaustive dans le cours.

T1.1 - Établir l'expression du volume molaire et du volume massique d'un gaz parfait. Estimer numériquement le volume molaire à température et pression ambiante (ordre de grandeur à calculer de tête).

T1.2 - Donner le lien entre énergie cinétique des molécules et température d'un gaz. En déduire l'expression de la vitesse quadratique moyenne dans un gaz parfait à température T et l'estimer numériquement pour le diazote de l'air (ordre de grandeur à calculer de tête).

T1.3 - Établir l'expression de l'énergie interne et de la capacité thermique isochore d'un gaz parfait monoatomique.

> *La démonstration peut s'appuyer ou bien sur la définition de la température cinétique, ou bien sur le théorème d'équipartition de l'énergie (admis).*

T1.4 - Une enceinte cylindrique diatherme de section S contient n mol de gaz parfait. Elle est fermée par un piston de masse m pouvant coulisser sans frottement situé à une hauteur H du fond de l'enceinte. L'ensemble se trouve dans l'air à température T_0 et pression P_0. Déterminer la température et la pression dans l'enceinte.

Cahier d'Entraînement

Le *Cahier d'Entraînement* est un projet collaboratif mené par des enseignants de CPGE, proposant aux étudiants des entraînements leur permettant de travailler en autonomie sur des techniques et « réflexes » utiles dans les exercices, en particulier calculatoires. Il est librement téléchargeable en scannant ou cliquant sur le QR-code ci-contre.

$\rightsquigarrow$ pour ce chapitre : 18.3 à 18.9 ; 23.1, 23.2 et 23.4

Modèle du gaz parfait

Exercice 1 : Pression des pneus — 1 | 1

▹ *Équation d'état des gaz parfaits.*

La pression préconisée sur les roues avant d'une Mégane est de 2,2 bar. J'ai réglé la pression des pneus de ma voiture un jour froid cet hiver, par une température extérieure de −5 °C.

1 - En supposant que le volume des pneus ne varie pas et qu'il n'y a aucune fuite d'air possible, quelle sera l'indication du manomètre un jour chaud cet été, par une température extérieure de 30 °C ?

2 - Calculer la variation relative de pression due au changement de température. Que me conseilleriez-vous ?

Exercice 2 : Fuite d'hélium — 2 | 1

▹ *Équation d'état des gaz parfaits ;*
▹ *Vitesse quadratique moyenne.*

On considère une bouteille de volume constant $V = 10\,\mathrm{L}$ contenant de l'hélium, modélisé comme un gaz parfait monoatomique, à la pression $p = 2{,}1\,\mathrm{bar}$ et à la température $T = 300\,\mathrm{K}$.

Données : masse molaire de l'hélium $M = 4{,}0\,\mathrm{g\cdot mol^{-1}}$, constante de Boltzmann $k_\mathrm{B} = 1{,}38\cdot 10^{-23}\,\mathrm{J\cdot K^{-1}}$.

1 - Calculer la masse m d'hélium contenue dans la bouteille et la densité particulaire $n^\star$, c'est-à-dire le nombre d'atomes par unité de volume.

2 - Calculer la vitesse quadratique moyenne des atomes.

3 - À la suite de l'ouverture de la bouteille, la pression passe à $p' = 1{,}4\,\mathrm{bar}$ et la température à $T' = 290\,\mathrm{K}$. Calculer la masse Δm de gaz qui s'est échappé de la bouteille.

4 - À quelle température T'' faudrait-il porter le gaz pour atteindre à nouveau la pression p ?

Exercice 3 : Existence d'une atmosphère — 2 | 1

▹ *Vitesse quadratique moyenne.*

Pour qu'un système (molécule … ou fusée) puisse s'échapper de l'attraction gravitationnelle d'un astre de masse m_0 et de rayon R_0, sa vitesse doit être supérieure à la *vitesse de libération*,

$$v_\mathrm{lib} = \sqrt{\frac{2\mathcal{G}m_0}{R_0}}\,,$$

où $\mathcal{G} = 6{,}7\cdot 10^{-11}\,\mathrm{m^3\cdot kg^{-1}\cdot s^{-2}}$ est la constante de gravitation universelle.

1 - Calculer la vitesse de libération à la surface de la Terre ($6{,}0\cdot 10^{24}$ kg, $6{,}4\cdot 10^{6}$ m de rayon) et à la surface de la Lune ($7{,}3\cdot 10^{22}$ kg, $1{,}7\cdot 10^{6}$ m de rayon).

2 - Interpréter l'existence d'une atmosphère stable à la surface de la Terre. On ne considérera que le diazote ($M_{N_2} = 28\,\mathrm{g\cdot mol^{-1}}$), pour simplifier, l'ordre de grandeur étant comparable pour le dioxygène.

3 - Quelle devrait être la température à la surface de la Lune pour qu'une atmosphère composée de diazote ne s'échappe pas ? Celle-ci varie entre 120 °C le jour et −170 °C la nuit : commenter.

Exercice 4 : Gaz de Clausius 2 | 1

▹ *Équation d'état.*

Le modèle de Clausius est un modèle de phase gazeuse destiné à améliorer le modèle du gaz parfait. L'équation d'état molaire de ce gaz s'écrit

$$P(V_\mathrm{m} - b) = RT$$

où R est la constante des gaz parfaits et b une constante caractéristique du gaz appelée « volume exclu ».

1 - Proposer une interprétation physique au volume exclu.

2 - Tracer l'allure de quelques isothermes pour ce gaz dans le diagramme d'Amagat $PV = f(P)$. Comment déduire b à partir d'un réseau d'isothermes expérimentales ?

3 - Comment se comporte un gaz de Clausius dans la limite des basses pressions ?

Équilibre thermodynamique

Exercice 5 : Gonflage d'un ballon de basket 2 | 2 |

▹ *Équation d'état des gaz parfaits.*

Une pompe à main destinée à gonfler un ballon de basket contient un réservoir cylindrique de volume utile V_1 (diamètre 1 cm, longueur 10 cm). Lorsque le piston est déplacé vers la gauche, le réservoir se remplit d'air issu de l'atmosphère. Lorsqu'il est déplacé vers la droite, tout l'air contenu dans le réservoir est transvasé dans l'enceinte. On suppose qu'à tout instant l'ensemble du gaz contenu dans le réservoir et le ballon est en équilibre thermique avec l'atmosphère, et que l'air dans le ballon se trouve initialement à la pression atmosphérique.

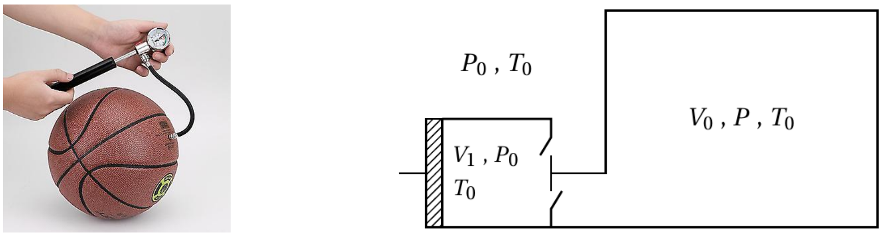


Figure 1 – Pompe permettant de gonfler un ballon de basket.

1 - Déterminer la pression P_k dans le ballon après k allers-retours du piston.

2 - Combien d'allers-retours sont nécessaires pour gonfler le ballon (diamètre 24 cm) à la pression voulue de 1,6 bar ?

Exercice 6 : Échanges entre deux réservoirs 2 | 1 |

▹ *Équation d'état des gaz parfaits ;*
▹ *Équilibre thermodynamique.*

Deux réservoirs de même volume V sont reliés par un tube fin de volume négligeable. L'ensemble contient au total n mol de gaz parfait. L'un des réservoirs est porté à la température T_1, l'autre à la température $T_2 < T_1$.

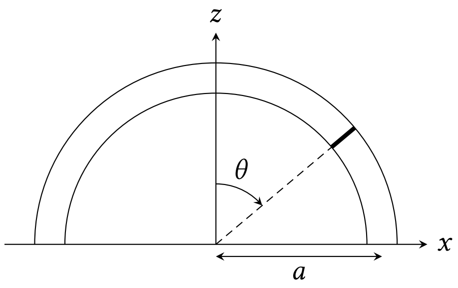
1 - Le système constitué des deux réservoirs est-il à l'équilibre thermodynamique ?

2 - Calculer les quantités de matière de gaz dans les deux réservoirs en régime stationnaire.

3 - Calculer la pression dans les deux réservoirs.

Exercice 7 : Tube circulaire à deux compartiments — oral banque PT | 3 | 3

- *Force de pression ;*
- *Équilibre mécanique ;*
- *Oscillateur harmonique.*



Considérons un tube de section S, en forme de demi-cercle de rayon moyen a. Au sein du tube se trouve un piston d'épaisseur négligeable se déplaçant sans frottement, qui le sépare en deux compartiments étanches. Chaque compartiment est rempli d'une même quantité n d'un gaz parfait à la température T.

1 - Montrer que les positions d'équilibre du piston vérifient

$$\sin\theta = \frac{T}{T_c}\,\frac{\theta}{1-4\theta^2/\pi},$$

Déterminer la température critique T_c.

2 - Analyser les positions d'équilibre en distinguant les cas $T \gtrless T_c$.

3 - Étudier qualitativement le passage de $T_1 > T_c$ à $T_2 < T_c$.

4 - Déterminer la pulsation des oscillations autour de la position d'équilibre pour $T > T_c$.

Données :

- inégalité de convexité du sinus : $\forall x \geq 0, \sin x \leq x$;
- développement limité au premier ordre : pour $\varepsilon \ll 1$, $\dfrac{1}{1+\varepsilon} \simeq 1-\varepsilon$.