Travaux Dirigés

de Physique

Charles Tuchendler

MPSI 4 – Lycée Saint-Louis

Année 2017/2018

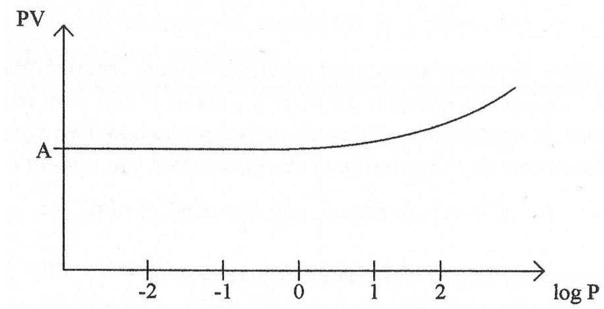
Table des matières

TD n° 19

Du gaz parfait aux fluides réels et aux phases condensées

Exercice n° 1 - Comportement d'un gaz aux basses pressions

La figure ci-dessous représente la courbe du produit PV d'une mole d'un gaz réel à la température $T = 300$ K en fonction du logarithme décimal de la pression exprimée en bar.



1. Dans quel domaine le gaz peut-il être considéré comme parfait ?

   Proposer un encadrement pour les valeurs de la pression.
2. En déduire la valeur numérique de A. Quelle est la dimension de PV ? En déduire l'unité de A.

Exercice n° 2 - Comparaison entre le modèle du gaz parfait et le modèle du gaz de Van der Waals

Une mole de dioxyde de carbone obéit à l'équation d'état de Van der Waals :

$$(P + \frac{a}{V^2})(V - b) = RT$$

Pour caractériser la différence de comportement entre le gaz réel et le gaz parfait, on souhaite comparer les volumes V et V' occupés par le gaz réel et le gaz parfait dans le mêmes conditions de température et de pression. On définit à cette fin le facteur de compressibilité :

$$Z = \frac{V}{V'} \text{ avec } V' = \frac{RT}{P}, \text{ donc } Z = \frac{PV}{RT}$$

qui tend vers l'unité si le comportement du gaz se rapproche de celui d'un gaz parfait.
Lorsque c'est le cas, on peut développer soit Z en fonction de $\frac{1}{V}$: $Z = 1 + \frac{B}{V} + \frac{C}{V^2} + \frac{D}{V^3} + ...$, soit$Z$ en fonction de la pression P : $Z = 1 + B'P + C'P^2 + D'P^3 + ...$

1. (a) Exprimer les deux coefficients B et C en fonction de a, b, R et T.
   (b) En comparant les deux séries infinies, trouver les expressions des coefficients de B' et C' en fonction de B, C, R et T.
2. Interprétation physique des isothermes d'Agamat : aux basses pressions, on se limite à : $Z \simeq 1 + B'P$.
   (a) Donner l'allure, dans un diagramme $PV = f(P)$, des isothermes des ce gaz réel selon la température de l'expérience.
   (b) Pour quelle température (dite de Mariotte) retrouve-t-on un comportement analogue au gaz parfait ?

Exercice n° 3 - Comparaison des gaz monoatomiques et diatomiques

On utilise une enceinte fermée, de volume $V = 10{,}0\,\mathrm{L}$ constant pour comparer les propriétés des gaz monoatomiques et diatomiques. Cette enceinte, parfaitement calorifugée (c'est à dire qu'elle est isolée thermiquement), contient une résistance électrique $r = 10\ \Omega$ qui peut être parcourue par un courant ajustable I. La température ambiante T est $300\,\mathrm{K}$.

Données : $R = 8{,}32\,\mathrm{J\,K^{-1}\,mol^{-1}}$; $\mathcal{N}_A = 6{,}02 \times 10^{23}\,\mathrm{mol^{-1}}$

1. L'enceinte contient une mole d'argon, un gaz monoatomique supposé parfait dans les conditions de l'étude et dont la masse molaire vaut $M_{\mathrm{Ar}} = 39{,}9\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$.
   (a) Calculer la pression P_1 de l'argon à température ambiante.
   (b) Calculer l'énergie cinétique moyenne de translation d'un atome d'argon. En déduire la vitesse moyenne d'un atome.
   (c) On fait circuler un courant d'intensité $I = 1\,\mathrm{A}$ dans la résistance pendant une durée Δt égale à une minute. Calculer la température T_{f1} puis la pression P_{f1} du gaz à la fin de cette opération, sachant que l'énergie apportée au gaz par la résistance est intégralement transférée à celui-ci sous forme d'énergie interne.
   (d) Que vaut à présent l'énergie cinétique de translation d'un atome d'argon ?
2. L'enceinte contient maintenant une mole de dioxygène à température ambiante. Dans les conditions d'expérimentation, le dioxygène est un gaz diatomique que nous considérons parfait. La masse molaire de l'oxygène est $M_O = 16\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$
   (a) Déterminer la pression P_2 du dioxygène, l'énergie cinétique de translation des molécules et leur vitesse quadratique moyenne. Comparer ces valeurs avec celles obtenues pour l'argon.
   (b) On fait à nouveau passer un courant de 1 A dans la résistance pendant une minute. Quelle est alors la température T_{f2} du gaz ?
   (c) Calculer l'énergie cinétique de translation moyenne des molécules de dioxygène. Donner une interprétation microscopique de la différence avec l'énergie cinétique de translation moyenne obtenue pour l'argon.
   (d) Pendant combien de temps aurait-on dû faire circuler le courant I pour que le dioxygène atteigne une température identique à celle obtenue pour l'argon ?

Exercice n° 4 - Température cinétique et vitesse quadratique moyenne

Un récipient de volume 1 dm^3, à parois adiabatiques isolantes, contient $1,4$ g de diazote à la pression atmosphérique. Le diazote sera considéré comme un gaz parfait.

1. Quelle est la température du gaz dans le récipient ?
2. Quelle est la densité de molécules n^* (nombre de molécules par unité de volume) dans le récipient ?
3. Quelle est l'énergie cinétique moyenne de translation ε d'une molécule N_2 ?
4. Quelle est sa vitesse quadratique moyenne $u = \sqrt{\langle v^2 \rangle}$?

Exercice n° 5 - Fuite de l'atmosphère

1. Calculer numériquement pour une température de 300 K, la vitesse quadratique moyenne du dihydrogène et du diazote.
2. On donne les vitesses de libération d'un corps au voisinage de la Terre, $v_{\ell_{\mathrm{T}}} = 1,1 \times 10^4$ m.s^{-1}, et au voisinage de la Lune, $v_{\ell_{\mathrm{L}}} = 2,3 \times 10^3$ m.s^{-1}.
   Calculer les rapports entre les vitesses de libération et les vitesses quadratiques moyenne. Commenter
3. Quelle devrait être l'ordre de grandeur de la température pour que le diazote, constituant majoritaire de l'atmosphère terrestre, échappe quantitativement à l'attraction terrestre ? Commenter.
4. Question subsidiaire : Déterminer les vitesses de libération données en 2.

Données : $G = 6,67 \times 10^{-11}$ SI ; $R_{\mathrm{T}} = 6,4 \times 10^6$ m ; $R_{\mathrm{L}} = 1,8 \times 10^6$ m ;
$M_{\mathrm{T}} = 6,0 \times 10^{24}$ kg ; $M_{\mathrm{L}} = 7,4 \times 10^{22}$ kg ; $M\,(\mathrm{N}) = 14,0$ g.mol^{-1}.

Exercice n° 6 - Gonflage d'un pneu

Dans cet exercice, l'air est assimilé à un gaz parfait.

1. Un pneu sans chambre, de volume supposé constant, est gonflé à froid, à la température $\theta_1 = 20$°C, sous la pression $P_1 = 2{,}1$ bar. Après avoir roulé un certain temps, on mesure une pression $P_2 = 2{,}3$ bar. Expliquer ce phénomène.
2. Une bouteille d'acier, munie d'un détendeur, contient dans un volume $V_b = 80$ L, de l'air comprimé sous $P_b = 15$ bar. En ouvrant le détendeur à la pression atmosphérique, quel volume d'air peut-on extraire à température constante ?
3. On veut gonfler des pneus de volume $V_p = 50$ L à la pression $P_p = 2{,}6$ bar au moyen de cette bouteille d'air comprimé. Les pneus sont initialement à la pression atmosphérique $P_{atm} = 1$ bar. On suppose que le gonflage se fait de façon isotherme ($T = cte = 300$ K).
   (a) Donner l'expression de la quantité de matière d'air n_p présente dans le pneu gonflé. En déduire la quantité de matière n_i qu'il faut injecter dans le pneu.
   (b) Déterminer l'expression de la pression dans la bouteille après un premier gonflage, puis après x gonflages.
   (c) En déduire combien de pneus peuvent être gonflés avec cette bouteille.

Exercice n° 7 - Air de la salle de classe

On considère l'air de la classe comme un gaz parfait au repos formé à 80% de diazote N_2 et à 20% de dioxygène O_2. La pression est de une atmosphère (1 atm = 1,013 bar) et la température est de 29°C.
Les dimensions de la salle sont $L = 8$ m, $\ell = 5$ m et $h = 3$ m.
Données : $M(N) = 14$ g.mol^{-1} ; $M(O) = 16$ g.mol^{-1} ; $\mathcal{N}_A = 6{,}02.10^{23}$ mol^{-1} et $R = 8{,}314$ SI.

1. Déterminer le volume V de la classe et la masse molaire moyenne M de l'air.
2. Déterminer la quantité de matière n d'air présent dans la classe ainsi que les nombre N de molécules d'air et leur masse totale m.
3. En déduire la masse volumique ρ de l'air, la densité particulaire n^* (nombre de molécules par unité de volume) ainsi que la distance moyenne d entre deux molécules.
4. Classer toutes les grandeurs utilisées en deux catégories : intensives ou extensives.

Exercice n° 8 - Température cinétique et énergie cinétique

1. Exprimer le produit PV d'un gaz monoatomique supposé parfait en fonction du nombre de molécules, puis du nombre de moles et enfin de l'énergie cinétique de translation.
2. Calculer l'énergie cinétique d'agitation thermique d'une mole de diazote dans les conditions normales.
3. Calculer la vitesse quadratique moyenne du diazote dans les conditions normales.
4. On met en contact thermique deux réservoirs, l'un contenant du dioxygène sous une pression de 2 bar, l'autre de l'argon sous une pression de 10 bar. Au bout d'un temps suffisant, la température est identique pour les deux gaz. Calculer le rapport des vitesses quadratiques moyennes.

Données : $M\,(\mathrm{N}) = 14,0$ g.mol^{-1}, $M\,(\mathrm{O}) = 16$ g.mol^{-1}, $M\,(\mathrm{Ar}) = 39,9$ g.mol^{-1}