TD11 – Description d'un système thermodynamique

Donnée pour tous les exercices : constante des gaz parfait $R = 8{,}314\,\mathrm{J\cdot mol^{-1}\cdot K^{-1}}$.

Exercice 1 – Masse volumique de l'air

Dans les CNTP ($0\,°\mathrm{C}$, $1{,}013\times10^5\,\mathrm{Pa}$), l'air peut être considéré comme un gaz parfait.

1. Rappeler la composition approchée de l'air. En déduire sa masse molaire.
2. Déterminer le volume molaire de l'air.
3. En déduire son volume massique et sa masse volumique.

Données : masse d'un nucléon $m = 1{,}67\times10^{-27}\,\mathrm{kg}$. *Les isotopes majoritaires de l'azote et de l'oxygène sont* ${}^{14}_{7}\mathrm{N}$ *et* ${}^{16}_{8}\mathrm{O}$.

Exercice 2 – Pression des pneus

En hiver, par une température extérieure de $-10\,°\mathrm{C}$, un automobiliste règle la pression de ses pneus à $P_1 = 2{,}0\,\mathrm{atm}$, pression préconisée par le constructeur. Cette valeur est affichée par un manomètre qui mesure l'écart entre la pression des pneumatiques et la pression atmosphérique. On rappelle que $1\,\mathrm{atm} = 1{,}013\times10^5\,\mathrm{Pa}$.

1. Quelle serait l'indication P_2 du manomètre en été à $30\,°\mathrm{C}$? On suppose que le volume des pneus ne varie pas et qu'il n'y a aucune fuite au niveau de ce dernier.
2. Calculer la variation relative de pression due au changement de température. Conclure.

Exercice 3 – Crevaison

En cas de crevaison, des cartouches de CO_2 permettent de regonfler rapidement un pneu de vélo. Il existe trois formats de cartouches, étiquetées suivant la masse de gaz qu'elles contiennent : $12\,\mathrm{g}$, $16\,\mathrm{g}$ et $25\,\mathrm{g}$.

Indiquer la plus petite cartouche à prévoir pour regonfler jusqu'à $7{,}5\,\mathrm{bar}$ le pneu d'un vélo de route, équipé de roues de 28 pouces de diamètre avec des pneus dont la section est de diamètre $25\,\mathrm{mm}$.

Données : $M_\mathrm{C} = 12\,\mathrm{g\cdot mol^{-1}}$ *;* $M_\mathrm{O} = 16\,\mathrm{g\cdot mol^{-1}}$ *; 1 pouce* $= 25{,}4\,\mathrm{mm}$.

Exercice 4 – Gaz parfait dans une enceinte

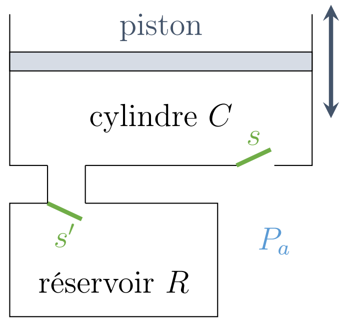
Une quantité de matière n de gaz parfait est enfermée dans une enceinte de surface de base S. Cette enceinte est fermée par un piston de masse m, à même de coulisser sans frottement et permet les transferts thermiques. Le milieu extérieur se trouve à pression constante P_0. On fait subir au gaz la série de transformations suivante :

- dans l'état (1), le système est à l'équilibre avec l'extérieur de température T_0 ;
- on augmente la température de l'extérieur jusqu'à $T > T_0$. À l'équilibre le système est dans l'état (2) ;
- une masse M est placée par dessus le piston. À l'équilibre, le système est dans l'état (3) ;
- on ramène la température de l'extérieur à sa valeur initiale T_0. À l'équilibre, le système est dans l'état (4).

1. Faire un schéma correspondant aux quatre états (1) à (4).
2. Déterminer les quatre positions du piston h_1 à h_4.

Exercice 5 – Étude d'un compresseur

Le compresseur représenté ci-contre est constitué de la façon suivante : un piston se déplace dans un cylindre C qui communique par des soupapes s et s' respectivement avec l'atmosphère à la pression P_a et avec le réservoir R contenant l'air comprimé. Le réservoir R contient initialement de l'air considéré comme gaz parfait à la pression $P_0 \geqslant P_a$.



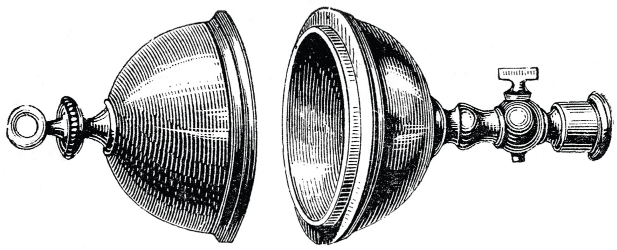
Le volume du réservoir R, canalisations comprises, est V. Le volume offert au gaz dans C varie entre un volume maximum V_M et un volume minimum V_m, volume nuisible résultant de la nécessité d'allouer un certain espace à la soupape s.

La soupape s s'ouvre lorsque la pression atmosphérique P_a devient supérieure à la pression dans le cylindre C et se ferme pendant la descente du piston. La soupape s' s'ouvre lorsque la pression dans le cylindre C devient supérieure à celle du gaz dans le réservoir R et se ferme pendant la montée du piston.

Au départ, le piston est dans sa position la plus haute ($V = V_M$), s' est fermée, s est ouverte et le volume V_M est empli d'air à la pression P_a.

1. En supposant que le piston se déplace assez lentement pour que l'air reste à température constante, Exprimer le volume V_1' pour lequel s' s'ouvre, en fonction de P_0, P_a, et V_M.
2. Exprimer la pression P_1 dans le réservoir R après le premier aller-retour.
3. En écrivant une condition sur V_1', exprimer la valeur $P_{\max}$ au-dessus de laquelle la pression ne peut pas monter dans le réservoir.
4. Exprimer la pression P_n dans le réservoir après n allers et retours du piston.
5. Donner la valeur limite de P_n quand $n \gg 1$. Comparer cette limite avec $P_{\max}$.
6. Calculer P_1 et $P_{\max}$ avec $V = 5\,\mathrm{L}$, $V_M = 0{,}25\,\mathrm{L}$, $V_m = 10\,\mathrm{cm}^3$ et $P_0 = P_a = 1\,\mathrm{bar}$.

Exercice 6 – Hémisphères de Magdebourg (difficile)



Les hémisphères de Magdebourg sont deux hémisphères creux d'environ 50 cm de diamètre, qui une fois assemblés forment une enceinte sphérique étanche à l'air. Ils peuvent être raccordés à une pompe à vide, de manière à réduire la pression entre les hémisphères jusqu'à une pression négligeable devant la pression atmosphérique.

L'histoire veut qu'une fois le vide réalisé, les efforts de deux attelages de huit chevaux n'ont pas réussi à séparer les deux hémisphères.

1. Pour simplifier, on remplace dans un premier temps les deux hémisphères par deux demi-cylindres de même diamètre, qu'il est possible de rassembler de manière analogue aux hémisphères de Magdebourg.

  1.a. La force nécessaire pour séparer les deux demi-cylindres dépend-elle de la hauteur du cylindre ? De son diamètre ? Justifier.

  1.b. Calculer l'intensité de la force à appliquer pour séparer les deux demi-cylindres.

2. On considère à nouveau les deux hémisphères. En remarquant que, par symétrie, la résultante des forces de pression s'exerçant sur un hémisphère est nécessairement dirigée perpendiculairement au plan séparant les hémisphères, calculer l'intensité de la force à appliquer pour séparer les hémisphères.