Physique II – Thermodynamique

Exercices 3

11 mars 2025

À noter: Cette série est assez longue. Nous n'attendons pas de vous d'être capable de tout résoudre dans les trois heures de la séance d'exercices. Nous vous conseillons tout de même de lire tous les problèmes, pour pouvoir poser vos questions si quelque chose n'est pas clair.

Problème I Poussée d'Archimède II

On imagine un ballon parfaitement sphérique rempli d'hélium. Le diamètre est de 1 m, et le ballon ne se dilate pas.

En dérivant la formule du nivellement barométrique à température constante et de la poussée d'Archimède, calculer l'altitude maximale que le ballon peut atteindre, en faisant les mêmes suppositons sur l'atmosphère que nous avons faites en classe.

Constantes à utiliser:

- Densité de He : $\rho_{\mathrm{He}} = 0.634\ \mathrm{kg/m^3}$
- Masse moléculaire moyenne de l'air (voir cours): M=0.0289644 kg/mole
- T=300 K
- g=9.80665 kg·m/s^2
- R=8.3144598 J/(K·mol)
- La pression atmosphérique est de 1 atm

Problème II Montgolfière miniature

Dans une pièce à 20 °C, à pression de 1 bar, on veut faire décoller une montgolfière miniature en la gonflant avec de l'hélium (He = 4 g/mol). On considère l'air de la pièce comme un gaz parfait constitué, en pourcentages molaires, de 80% d'azote (N_2 = 28 g/mol) et de 20% d'oxygène (O_2 = 32 g/mol).

1. Quelles sont, dans cette pièce, les masses de 1 ℓ d'air et de 1 ℓ d'hélium ?
2. En supposant la masse de la montgolfière vide égale à 10 g (son volume à vide est négligeable) et en considérant la pression à l'intérieur du ballon égale à 1 bar (on néglige la surpression due à la tension superficielle de la membrane du ballon), calculer le volume minimal d'hélium dans le ballon pour faire décoller la montgolfière.
3. Que deviendrait ce volume si on remplaçait l'hélium par de l'air chaud à 100 °C ?

Problème III Cycle thermodynamique

Supposons une transformation cyclique d'un gaz parfait à travers 4 états :

- Point A : p=1 bar; V= 1 L; T=300 K
- Transformation A⟶B est une expansion isothermique jusqu'à p=0.5 bar.
- Transformation B⟶C est un refroidissement isobare jusqu'à 200 K.
- Transformation C⟶D est un isothermique, de retour à 1 bar.

Produire un tableau contenant p, T, et V pour les 4 points du cycle. Dessiner un diagramme p-V et montrer le cycle et ses transformations. Montrer, ensuite, le cycle dans des diagrammes p-T et T-V.

Problème IV Fonctions d'état?

Indice: $\Delta U = Q + W$, de plus, pour un gaz parfait monoatomique $U = \frac{3}{2}nRT$

On suppose une transformation cyclique à quatres étapes d'un gaz parfait monoatomique.

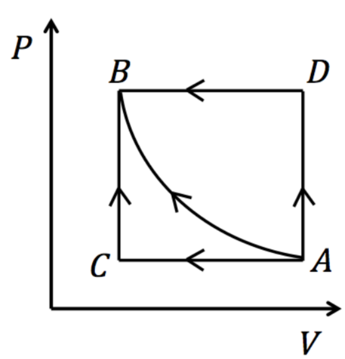
- Point A est à p = 10^3 Pa ; V = 1 cm^3; T = 373 K
- A $\longrightarrow$ B est une compression isochore jusqu'à p = 10^4 Pa,
- B $\longrightarrow$ C est une expansion isotherme jusqu'à V = 2.5 cm^3,
- C $\longrightarrow$ D est une compression isobare jusqu'à V= 1 cm^3.

Calculer le travail, la chaleur, et le changement d'énergie interne pour chacune des transformations. Quelle est la variation totale de chaque quantité?

On suppose maintenant que le passage de B à C est divisé en deux sous-étapes. Pour cela on définit un point C′ à p = 10^4 Pa et V = 2.5 cm^3. Calculer le travail total, la chaleur totale, et le changement totale de l'énergie interne pour le cycle A→B→C′ →C→D→A. Comparer avec les résultats du cycle original. Quelles sont les conclusions de cette comparaison ?

Problème V Transformation d'un gaz parfait

On comprime de façon quasi-statique un piston contenant une mole de gaz parfait, initialement à température T_A = 300 K et pression p_A = 1 bar, jusqu'à une température $T_A = T_B$ et une pression p_B = 5 bar. La compression se produit de trois façons différentes, comme indiqué sur la figure ci-dessous. La première compression AB est isotherme, la deuxième suit le chemin ADB, et la troisième suit le chemin ACB. Calculer le travail reçu par le gaz de l'environnement au cours des transformations AB, ADB et ACB et commenter les résultats trouvés.



Problème VI Variation de l'énergie interne après mélange de deux gaz parfaits

On considère un gaz parfait placé dans deux compartiments de même volume V, aux pressions respectives $p_1 = 2$ bar et $p_2 = 1$ bar, et à la même température initiale T. Le réservoir est rigide et adiabatique (sans échange de chaleur, i.e. Q=0). On met en communication les deux compartiments et on attend l'équilibre.

1. Calculer la variation d'énergie interne de l'ensemble.
2. A partir de considérations sur l'énergie interne du système, montrer que la température ne change pas dans l'enceinte.
3. Calculer la pression finale.