Thermodynamique : théorie cinétique & gaz parfaits (PCSI)

Exercice Expérience de Clément et Desormes

Dans un ballon de volume V se trouvent n_0 moles d'un gaz parfait de coefficient γ, sous une pression P_0 légèrement supérieure à P_{atm} et une température $T_0 = T_{atm}$. Un tube en_U contient du mercure et présente initialement une dénivellation h_1. On néglige le volume des tubulures. On fait subir au gaz les transformations suivantes :

- On ouvre légèrement le robinet (r) jusqu'à ce que la dénivelation h devienne nulle. On considère cette transformation quasi statique et adiabatique.
- On referme alors le robinet. Une dénivellation h_2 apparait alors.

1. Comment interpréter l'apparition d'une dénivellation ?
2. Définissez le système thermodynamique à étudier. Déterminez ses états initiaux, intermédiaires et finaux en fonction de différentes températures et des hauteurs h_1 et h_2. et représentez son évolution sur un diagramme de Clapéron (p, V) en exagérant les évolutions.
3. Les évolutions sont en réalités infinitésimales et on peut associer les courbes du diagramme de Clapeyron à des droites. Exprimez le coefficient γ en fonction de h_1 et de h_2.

Exercice Pompe à vélo

On cherche à remplir une bouteille de plongée de volume V_b avec une pompe type pompe à vélo. On considère que les transformations sont isothermes.

Le volume maximal de la pompe (lorsque le piston est dans le plan BB') vaut V_{max} et son volume minimal (lorsque le piston est dans le plan AA') vaut V_{min}.

Initialement, la bouteille de gaz à une pression $P_{b,0} = P_{atm}$.

On considère pour commencer que $V_{min} = 0$, c'est à dire qu'on peut vider complètement la pompe.

1. Détaillez les différentes étapes du fonctionnement de la pompe.
2. On fait un aller retour avec la pompe. Déterminez la quantité Δn de gaz qui rentre dans la bouteille. Déterminez alors la valeur de la pression, de la température et du volume de la bouteille.
3. Combien de fois faut-il actionner la pompe pour obtenir une pression $p_b = 2p_0$?

On prend à présent en compte le volume minimal de la pompe.

1. Quelle est la pression maximale que l'on peut instaurer dans la pompe ?
2. La bouteille étant sous la pression p_b, on remplit puis on vide la pompe. Quelle pression règne dans l'ensemble bouteille + pompe ? Que se passe-t-il lorsqu'on retire le piston ?

Exercice Gaz de Van der Walls

On rappelle l'expression d'état d'une mole de gaz de Van der Walls: $\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$.

1. Interprétez les termes $\frac{a}{V^2}$ et b apparaissant dans l'équation.
2. Exprimez en fonction de V et de p les coefficients de dilatation isobare $\alpha = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$ et de variation de pression isochore $\beta = \frac{1}{p}\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V$.
3. Exprimez en fonction de V et T le coefficient de compressibilité isotherme $\chi = -\frac{1}{p}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T$.
4. Comparez ces différents coefficients à ceux obtenues dans le cas d'un gaz parfait.

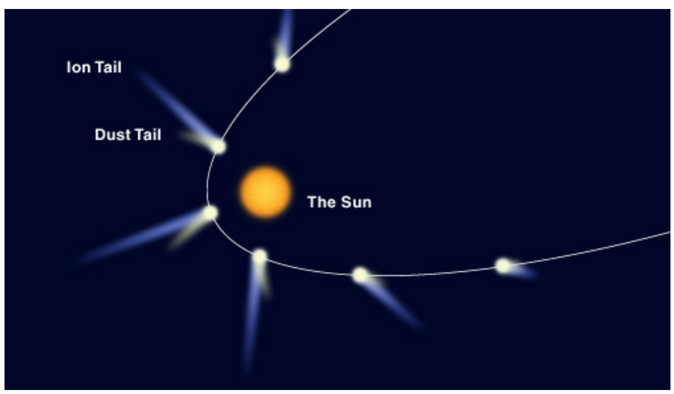
On s'intéresse à présent aux isothermes décrites par la loi de Van der Walls. On travaille donc à T fixé et on cherche à représenter les isothermes en coordonnées d'Amagat, c'est à dire à tracer $pV = f(p)$.

1. Reformulez l'équation de Van der Walls en fonction de p, de T et de $y = pV$.
2. Exprimez $\left(\frac{\partial y}{\partial p}\right)_T$, c'est à dire la variation de y en fonction de celle de p le long d'une isotherme.
3. Quels sont les points tels que $\left(\frac{\partial y}{\partial p}\right)_T = 0$? Que représentent ces points ? Représentez les sur un graphe.

EXERCICE GAZ DE PHOTONS & PRESSION DE RADIATION

Un pinceau lumineux de surface $dS = 1cm^2$ éclaire une paroi située en $z = 0$. La lumière est monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 500nm$. Elle est constituée de photons. Chaque photon possède une énergie $E = h\nu$ et une quantité de mouvement $\overrightarrow{p} = \frac{h\nu}{c}\overrightarrow{u}$, où $\overrightarrow{u}$ est un vecteur unitaire orienté dans la direction de propagation de la lumière. On suppose que la direction des photons peut être orientée suivant $\pm\overrightarrow{u_x}$, $\pm\overrightarrow{u_y}$ ou $\pm\overrightarrow{u_z}$ avec équiprobabilité. On notera n la densité de photons.

1. On suppose que les photons sont réfléchis par la paroi.
   (a) Combien de photons arrivent-ils sur la plaque pendant une durée dt ?
   (b) De combien varie la quantité de mouvement de la plaque pendant une durée dt ?
   (c) Que vaut la force exercée par la photons sur la plaque ? Que vaut la pression qui en résulte ?
2. Interpretez l'image ci dessous



3. Trouvez une relation entre la pression P, le volume V occupé par les photons et l'énergie interne U de l'ensemble des photons.

Solution

pendant dt arrivent $\frac{1}{6}S \times cdt \times n$ *photons. Chacun subit un changement d'impulsion de* $-2\frac{h\nu}{c}\overrightarrow{u_z}$ *donc* $d\overrightarrow{p_{photons}} = -\frac{1}{3}Sh\nu ndt\overrightarrow{u_z}$ *donc* $\overrightarrow{F_{ph\to mur}} = -\overrightarrow{F_{mur\to ph}} = \frac{1}{3}Sh\nu n$ *donc* $P = n\frac{h\nu}{3}$ *et* $PV = Vn\frac{h\nu}{3} = \frac{1}{3}Nh\nu = \frac{1}{3}U$.

On considère un cylindre partitionné par un piston adiabatique de masse négligeable. Chaque compartiment est en contact avec un thermostat et présente donc une température constante. Le premier contient $n_1 = 1\,mole$ d'un gaz parfait monoatomique, le seconde contient $n_2 = 2\,moles$ du même gaz.

1. On considère que $T_2 = T_1 = T_A = 42K$. Déterminez la position du piston à l'équilibre. Commentez.
2. On considère à présent $T_1 = T_A$, $T_2 = T_B = 666K$. Déterminez la position d'équilibre du piston. Commentez.
3. On considère à présent $T_1 = T_B$, $T_2 = T_B$. Même question. Même remarque.

A présent, on remplace le gaz de la partie supérieure par une masse m. Le gaz de la partie inférieure est un mélange de n_1 moles d'un gaz réel et de n_2 moles d'un autre.

1. On considère que $n_2 = 0$ et que le gaz 1 se comporte comme un gaz parfait. Déterminez la position du piston à l'équilibre.
2. On considère que $n_2 = 0$ et que le gaz 1 possède un coefficient de dilatation thermique α_1. On augemente la température du thermostat de ΔT. De combien se déplace le piston ? Ce résultat est-il cohérent avec la question précédente ?
3. On considère à présent que les deux gaz sont présents en quantités non nulles et possèdent un coefficient de dilatationt thermique α_1 et α_2. On augemente la température du thermostat de ΔT. De combien se déplace le piston ? Ce résultat est-il cohérent avec la question précédente ?

Question de cours

Rappelez les hypothèses du modèle du gaz parfait et démontrez, à partir des expressions de la pression cinétique et de la température cinétique, l'équation d'état des gaz parfaits.

Exercice Brisure spontanée de symétrie

On considère un cylindre de rayon R et de longueur L plongé dans un thermostat à la température T_0. De manière surprenante, un piston calorifugé de masse M sépare le cylindre en deux volumes égaux, chacun contenant n moles d'un gaz supposé parfait pour des raisons pratiques.

On fait tourner le cylindre perpendiculairement à son axe avec une vitesse angulaire ω. Déterminez les positions d'équilibre du piston.

Pourquoi parle t on pour décrire cette situation de *brisure spontanée de symétrie* ? Ce concept à la base du mécansime de Higgs.
