

BCPST 1 - Devoir Surveillé n°5 - PHYSIQUE

Mercredi 28 janvier 2025 – 1h30

Usage de la calculatrice : autorisé

Toute réponse doit être justifiée. Tout résultat final doit être mis en valeur.

On attend un résultat littéral préalablement à toute application numérique, ainsi que des réponses concises mais précises.

Donnée : Constante des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

EXERCICE 1 : TRANSFORMATIONS D'UN GAZ

(60 MINUTES)

Cet exercice contient de nombreuses questions indépendantes des précédentes.

On étudie les transformations de n moles d'un gaz supposé parfait. On notera P la pression du gaz, V son volume et T sa température. On notera R la constante des gaz parfaits et $C_{V,m} = \frac{R}{\gamma-1}$ la capacité thermique molaire à volume constant du gaz étudié, avec γ le coefficient adiabatique du gaz.

1. Établir l'expression de la variation d'énergie interne ΔU du système au cours d'une transformation quelconque en fonction de n , R , γ et de la variation de température ΔT .

On considère un cylindre vertical de section S fermé par un piston horizontal de masse négligeable, se déplaçant sans frottement (voir figure ci-contre). Le cylindre présente un tuyau sur sa face latérale, de diamètre négligeable et muni d'un robinet (R). Sauf indication contraire, le robinet est fermé.

Le cylindre contient $n = 0,20 \text{ mol}$ d'air, supposé gaz parfait, à la température $T_1 = T_0 = 300 \text{ K}$ (T_0 étant la température extérieure supposée constante) et à la pression $P_1 = P_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ (P_0 étant la pression atmosphérique supposée constante).

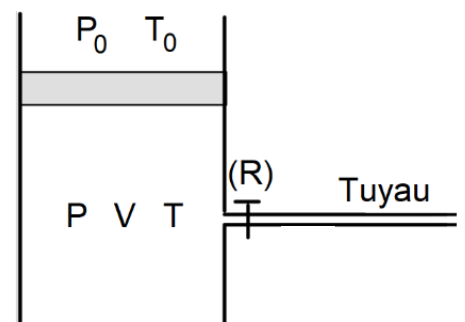
Le coefficient adiabatique de l'air vaut $\gamma = 1,4$.

2. Exprimer puis calculer le volume initial V_1 de l'air présent dans le cylindre à l'état initial.

Expérience A :

Dans cette première expérience, le piston, les parois du cylindre et le robinet sont diathermanes, et permettent donc les transferts thermiques. Un opérateur appuie très lentement sur le piston, de telle sorte à ce que le gaz atteigne réversiblement un nouvel état d'équilibre dans lequel la pression du gaz est $P_{2A} = 1,5 P_1$. Le volume du gaz est alors noté V_{2A} et sa température T_{2A}

3. Montrer que la transformation subie par le gaz est isotherme.



4. En déduire les valeurs de la température T_{2A} et du volume V_{2A} du gaz à l'état final.
5. Exprimer puis calculer le travail W_A reçu par le gaz au cours de la transformation A. Commenter le signe obtenu.
6. Énoncer le premier principe de la thermodynamique pour un système fermé subissant une transformation finie.
7. En déduire l'expression et la valeur du transfert thermique Q_A reçu par le gaz au cours de la transformation A. Commenter le signe obtenu.

Expérience B :

Dans cette deuxième expérience, le piston, les parois du cylindre et le robinet sont désormais athermanes (ou calorifugées). En repartant du même état initial, caractérisé par T_1 , V_1 et P_1 , un opérateur appuie très lentement sur le piston, de telle sorte à ce que le gaz atteigne réversiblement un nouvel état d'équilibre dans lequel la pression du gaz est $P_{2B} = 1,5 P_1$. Le nouvel état d'équilibre est caractérisé par un volume noté V_{2B} et une température notée T_{2B} .

8. Comment qualifier la transformation subie par le gaz dans cette expérience B ?

Pour une telle transformation, la loi de Laplace stipule que : $P \cdot V^\gamma = cste$.

9. Montrer que le volume du système dans l'état final est $V_{2B} = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$.
10. Déterminer la température T_{2B} du gaz à l'état final.
11. Exprimer le travail W_B reçu par le gaz au cours de la transformation en fonction de n , R , γ , T_1 et T_{2B} . Faire l'application numérique.

L'opérateur ouvre le robinet pendant un court instant, jusqu'à ce que la pression dans le cylindre soit égale à la pression atmosphérique P_0 , puis il referme le robinet : lors de cette opération, une quantité de matière n' de gaz **sort** du cylindre. On constate alors que la température du gaz **resté** dans le cylindre vaut $T_3 = 276 \text{ K}$ et que son volume est resté égal à V_{2B} .

12. Exprimer puis calculer la quantité de gaz n' qui est sortie du cylindre.

Le revêtement athermane du robinet a été détérioré lors de la manipulation de celui-ci. À partir de l'état précédent (P_0, V_{2B}, T_3) dans lequel le cylindre contient une quantité de matière de gaz n' , la température dans le cylindre va évoluer jusqu'à un état d'équilibre, le volume restant égal à V_{2B} .

13. Que vaut la température T_4 à l'état d'équilibre, atteint au bout d'un temps très long ? Exprimer puis calculer la pression P_4 à l'intérieur du cylindre à l'état d'équilibre.
14. Exprimer puis calculer le transfert thermique Q_B' reçu par le gaz contenu dans le cylindre au cours de cette dernière transformation.

EXERCICE 2 : STOCKAGE DU BUTANE**(30 MINUTES)**

Voici quelques données sur le butane, vendu en bouteille pour les gazinières, les barbecues à gaz et les planchas.

	T_{Critique}	T ébullition sous 1 bar	Pression saturante P^* à 20 °C	Masse volumique du liquide ($kg \cdot m^{-3}$)	M ($g \cdot mol^{-1}$)
butane	153°C	- 0,5°C	2,08 bar	585	58,0

L'ensemble du problème est traité à la température de 20°C.

Une bouteille classique neuve contient $m = 13,0 \text{ kg}$ de butane et a un volume $V = 30,0 \text{ L}$.

1. Déterminer le volume massique v_ℓ de la phase liquide et le volume massique v_g de la phase vapeur saturante.
2. Déterminer le volume massique du butane v_{sys} dans une bouteille neuve. En déduire l'état physique sous lequel se trouve le butane dans la bouteille neuve.
3. Calculer le volume minimal V_{min} que devrait avoir la bouteille pour stocker le butane sous forme vapeur. En déduire un 1^{er} avantage du stockage du butane sous forme biphasique.

On précise que, dans une bouteille neuve, le volume occupé par la phase liquide n'est pas négligeable par rapport à celui de la phase gazeuse.

4. On note x_ℓ la fraction massique en liquide dans une bouteille neuve. Établir l'expression de x_ℓ en fonction de v_{sys} , v_ℓ et v_g , puis faire l'application numérique. Commenter.
5. Évaluer le volume V_ℓ occupé par le liquide dans une bouteille neuve.
6. A 20 °C, quelle est la pression dans la bouteille lorsqu'elle est pleine ? Comment cette pression évolue-t-elle au cours de la vie de la bouteille ?
7. Déterminer la proportion du butane initialement présent qu'il reste dans une bouteille quand la pression commence à diminuer. En déduire un 2^{ème} avantage du stockage du butane sous forme biphasique.

Fin du sujet