

PHYS-F-201 : exercices

Systèmes multiphasiques et transitions de phases

-
1. La hauteur de la flamme d'un briquet à butane est de 0.5 cm à 10 °C et de 1 cm à 37°C. On suppose que la hauteur de la flamme est proportionnelle à la tension de vapeur dans le briquet. Calculez la chaleur de vaporisation supposée constante dans l'intervalle de température considéré.

 2. Calculez la température d'ébullition dans une casserole à pression contenant de l'eau, où règne une pression de 1.4 atmosphères. La chaleur de vaporisation de l'eau est 40.6 kJ mol⁻¹.

 3. On connaît la température d'ébullition de l'eau à une atmosphère : 100 °C. On dispose des mesures suivantes pour la pression de vapeur P : $P = P_1 = 757.299$ mm Hg à $T = T_1 = 99.90$ °C ; $P = P_2 = 762.720$ mm Hg à $T = T_2 = 100.10$ °C. Sachant que la chaleur de vaporisation de l'eau à la température d'ébullition est de 40.6 kJ mol⁻¹, estimez le zéro absolu en assimilant la vapeur d'eau à un gaz parfait.

 4. L'intensité du rayonnement solaire par temps beau et sec à Los Angeles est de 1.2 kW/m². Sachant que la chaleur d'évaporation de l'eau est de 40.7 kJ/mol, calculez la quantité d'eau s'évaporant par seconde d'une piscine de 5m × 10m. Quelle est l'épaisseur de la couche d'eau s'évaporant par heure?

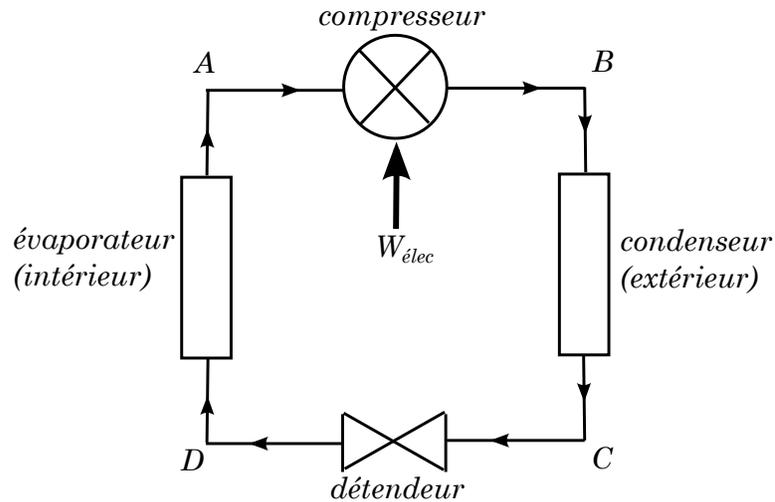
 5. Une personne essaie de perdre 10 kg de graisse en mangeant des cubes de glace. Combien de cubes de glace de 50g à -20°C cette personne doit-elle manger sachant que
 - * $\Delta_c H(\text{graisse}) = -38$ kJ g⁻¹,
 - * $\Delta_f H(\text{glace}) = 333$ J g⁻¹
 - * $c_p(\text{glace}) = 2.09$ J g⁻¹ K⁻¹

 6. Calculez la variation d'entropie de l'eau et de tous les autres corps, lorsqu'une mole d'eau surfondue gèle à -10°C et 1 atm. Considérez que les capacités calorifiques molaires de l'eau et de la glace sont constantes et respectivement égales à 75 et 38 J K⁻¹ mol⁻¹ et que la chaleur latente de fusion à 0°C est 6026 J mol⁻¹.

 7. Un matin d'hiver, la température atteint - 5°C et la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air tombe à 2 mm Hg. Le givre va-t-il sublimer? A quelle pression partielle de l'eau la sublimation s'arrêterait-elle? A son point triple ($T = 273.16$ K, $P = 4.58$ mm Hg), la chaleur latente de fusion de l'eau vaut 6kJ mol⁻¹ et sa chaleur latente de vaporisation vaut 45 kJ mol⁻¹. L'air ambiant n'influence pas l'équilibre des phases de l'eau.

Question posée à l'examen de janvier 2016

Le fonctionnement d'un réfrigérateur repose sur la circulation d'un fluide réfrigérant en partie à l'intérieur et pour l'autre partie à l'extérieur de l'enceinte à refroidir comme l'illustre le schéma ci-dessous.



Une masse m de fluide initialement à une température T_A traverse d'abord un compresseur sous forme gazeuse. Le gaz en ressort sous haute pression avec une température $T_B > T_A$. La circulation du gaz au sein du compresseur nécessite un travail électrique W_{elec} . Le gaz est ensuite refroidi à une température $T_C < T_B$ puis liquéfié dans un condenseur situé à l'extérieur et à l'arrière du réfrigérateur. Un détendeur réduit ensuite la pression du liquide de sorte que $T_D = T_A$. Le liquide se vaporise alors partiellement. Enfin, le fluide pénètre dans l'enceinte à refroidir à travers un évaporateur qui provoque la vaporisation du liquide restant en absorbant la chaleur. Les transformations $A \rightarrow B$ et $C \rightarrow D$ sont adiabatiques, tandis que les transformations $B \rightarrow C$ et $D \rightarrow A$ sont monobares.

Soient \mathcal{L}_C et \mathcal{L}_D les chaleurs latentes massiques de vaporisation du liquide dans les états C et D respectivement. Le gaz est supposé parfait d'indice adiabatique $\gamma = c_p/c_v$, où c_p et c_v désignent les capacités calorifiques massiques du gaz à pression constante et à volume constant respectivement.

Rappelons que la variation ΔH d'enthalpie lors d'une transformation s'exprime sous la forme $\Delta H = Q + W_{\text{ext}}$, où Q représente la chaleur échangée et W_{ext} le travail fourni par les forces extérieures autres que les forces de pression ($W_{\text{ext}} = W_{\text{elec}}$ pour la transformation $A \rightarrow B$, et $W_{\text{ext}} = 0$ pour les autres transformations).

- Précisez dans quel cas les performances des réfrigérateurs sont optimales. Nous nous placerons dans ce cas dans la suite.
- En effectuant le bilan d'enthalpie entre les états A et B , montrez que le travail électrique W_{elec} fourni au compresseur pour faire circuler le fluide est donné par $W_{\text{elec}} = m \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{R}{M} (T_B - T_A) = m c_p (T_B - T_A)$.
- Calculez la variation d'enthalpie lors de la transformation de B à C .
- En notant c_p^{liq} la capacité calorifique massique du liquide et x_D la fraction massique de vapeur en D , montrez que $c_p^{\text{liq}}(T_A - T_C) + x_D \mathcal{L}_D = 0$. Vous supposerez que la chaleur latente de compression du liquide est négligeable.
- Sachant que le réfrigérateur fonctionne selon un cycle thermodynamique, démontrez la relation suivante : $c_p(T_C - T_A) - \mathcal{L}_C + (1 - x_D)\mathcal{L}_D = 0$.
- Exprimez le coefficient de performance du réfrigérateur défini par $\varepsilon = \frac{Q_{D \rightarrow A}}{W_{\text{elec}}}$ en fonction de m , c_p , c_p^{liq} , \mathcal{L}_C , \mathcal{L}_D et W_{elec} .