Exercices de révisions de thermodynamique

Transformation d'un gaz

1. Entrée d'air dans une bouteille

Une bouteille rigide de volume V_1 possède des parois calorifugées, et elle est fermée par un bouchon également calorifugé ; elle est initialement vide. L'air qui l'environne est à P_0 et T_0. On enlève le bouchon et la bouteille se remplit très rapidement d'air ; dès que l'air n'entre plus, on rebouche la bouteille. On notera V_0 le volume occupé *initialement* par l'air qui est entré dans la bouteille.

a) Représenter sur un schéma l'état initial, un état intermédiaire et l'état final, en faisant apparaître le système étudié.

b) Calculer le travail des forces de pression exercées par l'air extérieur sur l'air entré dans la bouteille.

c) Pourquoi peut-on considérer la transformation comme adiabatique ? Déterminer alors la température finale T_1 de l'air dans la bouteille, considéré comme un gaz parfait de coefficient γ constant. Évaluer T_1 numériquement et commenter.

d) Déterminer la variation d'entropie de l'air entré dans la bouteille, et commenter.

Transformations d'un corps pur diphasé

2. Détermination de l'état final d'un mélange

Une enceinte adiabatique contient la masse $m_1 = 100$ g d'eau liquide de température initiale $T_1 = 290$ K et de capacité thermique massique à pression constante $c_1 = 4{,}18\ \mathrm{J\cdot g^{-1}\cdot K^{-1}}$. On y introduit une masse m_2 de glace de température initiale $T_2 = 260$ K et de capacité thermique massique à pression constante $c_2 = 2{,}09\ \mathrm{J\cdot g^{-1}\cdot K^{-1}}$. L'enthalpie de fusion de la glace sous la pression atmosphérique est $\ell = 334\ \mathrm{J\cdot g^{-1}}$.

a) Tracer, à partir d'un raisonnement qualitatif sans calcul, l'allure de la courbe donnant la température T d'équilibre en fonction du paramètre $x = \dfrac{m_2}{m_1}$. On précisera sur chaque partie de la courbe la composition de l'état final.

b) La température de fusion de la glace, sous la pression atmosphérique, étant $T_0 = 273$ K, déterminer les valeurs x' et x'' délimitant les trois parties de la courbe, et les masses m_2' et m_2'' correspondantes.

c) On prend $m_2 = 30$ g. Déterminer la composition du système eau/glace dans l'état final.

d) Calculer la variation d'entropie ΔS du système eau/glace au cours de la transformation, et commenter.

Machine thermique

3. Cycle d'un congélateur à ammoniac

On considère une machine frigorifique industrielle utilisant comme fluide frigorigène de l'ammoniac (désigné par le code R717 dans la nomenclature des frigoristes). Le cycle de Carnot ABCDA décrit par le fluide est représenté ci-après (page suivante) sur un diagramme entropique (t, s), où t est la température Celsius et s l'entropie massique (en $\mathrm{J\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}}$).

a) De quel côté du diagramme se trouve la phase liquide ? Justifier. Que représentent les courbes à droite ?

b) Chacune des quatre étapes du cycle correspond au passage de l'ammoniac dans l'un des appareils suivants : évaporateur, condenseur, compresseur, détendeur. Identifier pour chaque étape l'appareil correspondant.

c) Évaluer numériquement, pour une unité de masse d'ammoniac décrivant le cycle, le transfert thermique échangé au cours de chacune des étapes du cycle, ainsi que le travail total reçu sur un cycle.

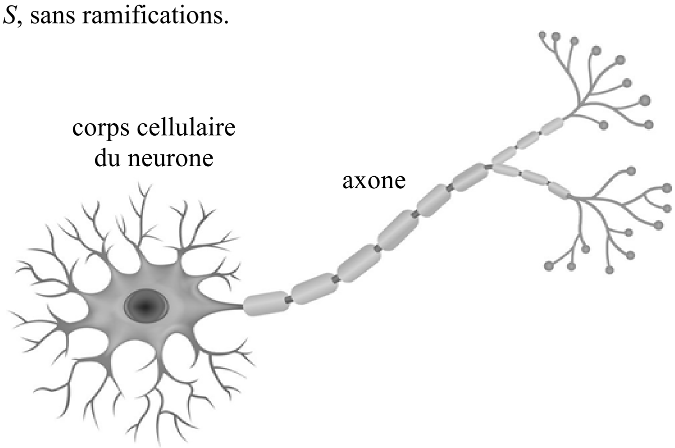
d) Définir l'efficacité frigorifique de cette machine. Déterminer sa valeur numérique et commenter.

e) Le débit massique de l'ammoniac dans le circuit étant $D_m = 2{,}1\ \mathrm{kg\cdot s^{-1}}$, calculer la puissance électrique consommée par cette machine.

Diffusion de particules

4. Transport diffusif de substances le long d'un axone

La transmission de signaux par l'axone d'un neurone nécessite la diffusion de diverses substances le long de l'axone : on s'intéresse ici à la diffusion du glucose, en considérant l'axone comme un simple tube d'axe (Ox), de longueur L et de section S, sans ramifications.



Le glucose (noté G) est consommé par des éléments actifs le long de l'axone. Il est fourni à l'entrée de l'axone par le corps cellulaire, où sa concentration est maintenue constante. On note α (> 0) la quantité de glucose consommée par unité de temps et par unité de longueur de l'axone : un bon fonctionnement nécessite que α soit uniforme le long de l'axone et constant au cours du temps.

Données : concentration du glucose dans le corps cellulaire $[\mathrm{G}]_0 = 1{,}2\cdot 10^{-3}\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$; consommation linéique du glucose dans l'axone $\alpha = 4{,}8\cdot 10^{-14}\ \mathrm{mol\cdot m^{-1}\cdot s^{-1}}$; coefficient de diffusion du glucose dans ce milieu $D = 2{,}0\cdot 10^{-10}\ \mathrm{m^2\cdot s^{-1}}$.

La loi de Fick s'écrit pour des flux et concentrations molaires exactement comme pour des flux et concentrations particulaires. On se place dans tout le problème en régime stationnaire.

a) En effectuant un bilan sur une tranche infinitésimale de l'axone, entre deux sections d'abscisses x et $x + \mathrm{d}x$, montrer que le flux molaire $\Phi_\mathrm{m}(x)$ le long de (Ox) vérifie l'équation différentielle : $\dfrac{\mathrm{d}\Phi_\mathrm{m}}{\mathrm{d}x} = -\alpha$.

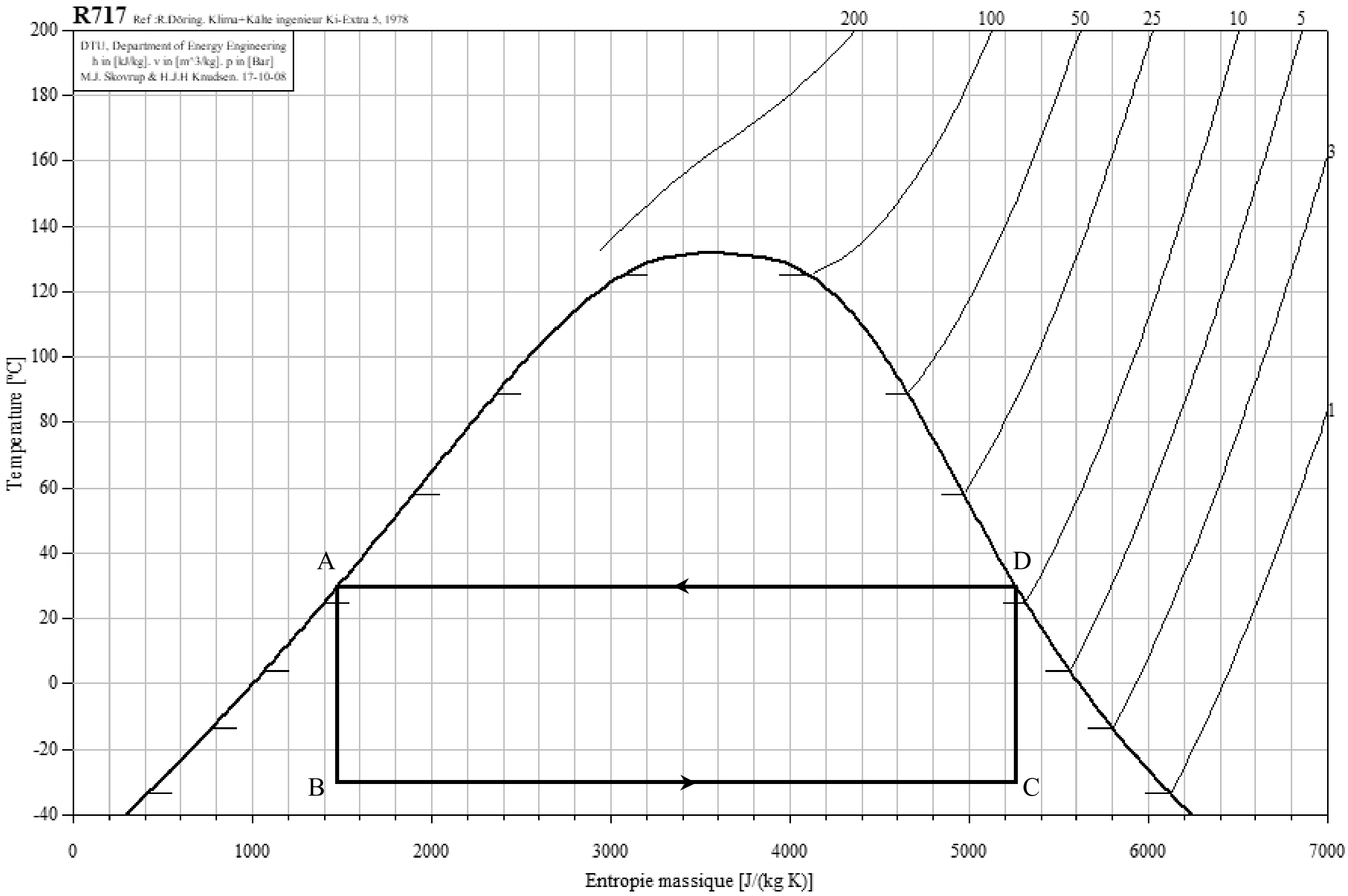
b) En déduire l'équation différentielle vérifiée par la concentration molaire $[\mathrm{G}](x)$.

c) Donner la solution de cette équation, en supposant que le flux devient nul à l'extrémité $x = L$ de l'axone.

d) Montrer que la longueur de l'axone ne peut pas dépasser une certaine valeur L_max. Évaluer cette valeur et commenter.

☞ *Réponses partielles*

1. c) $T_1 = \gamma T_0$. **2.** b) $x' = 0{,}197$. **3.** c) $q_\mathrm{BC} = +920\ \mathrm{kJ\cdot kg^{-1}}$, $q_\mathrm{DA} = -1150\ \mathrm{kJ\cdot kg^{-1}}$. **4.** c) $[\mathrm{G}](x) = \dfrac{\alpha}{2DS}x^2 - \dfrac{\alpha L}{DS}x + [\mathrm{G}]_0$.



R717 Ref :R.Döring. Klima+Kälte ingenieur Ki-Extra 5, 1978
DTU, Department of Energy Engineering
h in [kJ/kg]. v in [m^3/kg]. p in [Bar]
M.J. Skovrup & H.J.H Knudsen. 17-10-08
200
100
50
25
10
5
3
1
A
B
C
D
Temperature [ºC]
Entropie massique [J/(kg K)]