

# ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE NOVEMBRE 2023

Toute documentation permise  
Calculatrices : modèles autorisés seulement  
Durée de l'examen : 3 heures

## 16-CH-A3 transfert de chaleur et de matière

### 1. Transfert de chaleur en mode stationnaire (20+20 points)

De l'air chaud est transporté dans un tube de verre isolé avec une couche de polystyrène. Sur une longueur de 4 m de cette conduite, on dénote que la température massique moyenne de l'air passe de 340 à 300 K. Sachant que la vitesse moyenne de l'air est de 4m/s, on vous demande de calculer :

- a) la température moyenne de la paroi intérieure du tube de verre
- b) la température moyenne de la paroi extérieure de la couche de polystyrène.

Diamètre intérieure du tube de verre :  $D_i = 5,0$  cm

Diamètre extérieure du tube de verre :  $D_e = 5,6$  cm

Diamètre extérieure de la couche de polystyrène :  $D_o = 6,0$  cm

Conductivité thermique du verre : 1,5 W/m/K

Conductivité thermique du polystyrène : 0,13 W/m/K

Note : On assume un contact thermique parfait entre le tube de verre et la couche de polystyrène.

### 2. Transfert de chaleur en mode transitoire (20 points)

Une fibre de verre (Diam. = 1,25 mm,  $\rho = 2200$  kg/m<sup>3</sup>,  $c_p = 750$  J/kg/K,  $k=2,5$ W/m/K) à 1250°C est trempée dans de l'étain liquide à 250°C. Si le coefficient de transfert de chaleur est de 2000 W/m<sup>2</sup>/K, quelle devra être la durée de la trempé pour que la température maximale dans la fibre soit de 550°C.

### 3. Transfert de masse par convection (15 +5 points)

Un grêlon sphérique de 8,5 mm de diamètre tombe en chute libre dans l'atmosphère à une vitesse constante de 12,8 m/s et croît en taille par le transfert de molécules d'eau en suspension dans l'air vers la surface du corps solide. L'air est à une température de  $-13^{\circ}\text{C}$  et à une pression de 1 atmosphère. La quantité de vapeur d'eau dans l'air est équivalente à une pression partielle de 215 Pa.

- Veillez déterminer le coefficient moyen de transfert de masse  $k_c$  en m/s.
- Calculez la vitesse d'augmentation du rayon du grêlon en m/s sachant que la densité de la glace est de  $917 \text{ kg/m}^3$  et que la pression de vapeur d'eau à l'interface glace-air est de 195,7 Pa. Veillez considérer que la masse molaire de l'eau est de 18 g/mole et que la densité de la glace est de  $917 \text{ kg/m}^3$  à 260 K.

### 4. Procédés de séparation gaz-liquides (20 points)

Un mélange air- $\text{NH}_3$  est en contact avec de l'eau à  $16^{\circ}\text{C}$  et 2 atm. Les coefficients de transfert de matière  $k_y$  et  $k_L$  valent respectivement  $0,54 \text{ moles/s/m}^2$  et  $9,3 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ . Pour des solutions diluées de  $\text{NH}_3$  dans l'eau à  $16^{\circ}\text{C}$ , la pression partielle de  $\text{NH}_3$  est donnée par  $p'_A = 645x_A$  où  $p'_A$  est en mmHg et  $x_A$  est la fraction molaire de  $\text{NH}_3$  dans l'eau. Calculer le coefficient global  $K_G$  en  $\text{moles/s/m}^2/\text{atm}$  et le rapport entre les résistances dans le gaz et le liquide.

Vous pouvez vous servir de ces tables, le cas échéant.

Table de l'air (1 atm)

T	$\rho$	$c_p$	$\mu$	$\nu$	$k$	$\alpha$	Pr	$g\beta/\nu^2$
(K)	(kg/m <sup>3</sup> )	(J/kg/K)	(Pa·s)	(m <sup>2</sup> /s)	(W/m/K)	(m <sup>2</sup> /s)		(1/K/m <sup>3</sup> )
250	1,4133	1005,4	1,60E-05	1,13E-05	2,23E-02	1,57E-05	0,722	4,64E+08
260	1,3587	1005,4	1,65E-05	1,21E-05	2,31E-02	1,69E-05	0,719	2,57E+08
280	1,2614	1005,7	1,75E-05	1,39E-05	2,47E-02	1,94E-05	0,714	1,82E+08
290	1,2176	1005,8	1,80E-05	1,48E-05	2,55E-02	2,08E-05	0,711	1,55E+08
300	1,1769	1006,3	1,85E-05	1,57E-05	2,62E-02	2,22E-05	0,708	1,33E+08
320	1,1032	1007,3	1,94E-05	1,76E-05	2,78E-02	2,50E-05	0,703	9,94E+07
330	1,0699	1007,7	1,99E-05	1,86E-05	2,85E-02	2,65E-05	0,701	8,61E+07
340	1,0382	1008,5	2,03E-05	1,96E-05	2,93E-02	2,80E-05	0,699	7,50E+07
360	0,9805	1010,0	2,12E-05	2,16E-05	3,08E-02	3,11E-05	0,695	5,83E+07
400	0,8822	1014,2	2,29E-05	2,59E-05	3,37E-02	3,76E-05	0,689	3,66E+07

# Mass-Transfer Diffusion Coefficients in Binary Systems

Table J.1 Binary Mass Diffusivities in Gases\*

System	T, K	$D_{AB}P$ , cm <sup>2</sup> atm/s	$D_{AB}P$ , m <sup>2</sup> Pa/s
Air			
Ammonia	273	0.198	2.006
Aniline	298	0.0726	0.735
Benzene	298	0.0962	0.974
Bromine	293	0.091	0.923
Carbon dioxide	273	0.136	1.378
Carbon disulfide	273	0.0883	0.894
Chlorine	273	0.124	1.256
Diphenyl	491	0.160	1.621
Ethyl acetate	273	0.0709	0.718
Ethanol	298	0.132	1.337
Ethyl ether	293	0.0896	0.908
Iodine	298	0.0834	0.845
Methanol	298	0.162	1.641
Mercury	614	0.473	4.791
Naphthalene	298	0.0611	0.619
Nitrobenzene	298	0.0868	0.879
n-Octane	298	0.0602	0.610
Oxygen	273	0.175	1.773
Propyl acetate	315	0.092	0.932
Sulfur dioxide	273	0.122	1.236
Toluene	298	0.0844	0.855
Water	298	0.260	2.634