

2.4 EXERCICES ÉNERGIE THERMIQUE

Exercice n° 2.4.b : La bière

QUESTIONS

Question 1 : Combien de temps faut-il laisser une bière au congélateur pour la boire bien fraîche ?

Faites vos propres hypothèses

Ici on supposera que la bière est fraîche lorsqu'elle atteint 5°C et qu'elle est au départ à 20°C dans un congélateur à -10°C. On suppose que les propriétés de la bière (thermiques et non ludiques) sont telles que celles de l'eau (ici liquide avec un titre de $x=0$).

On suppose un coefficient de convection naturelle de $7 \text{ W/m}^2\text{K}$ dans le frigo, un rayon de 2cm.

On a fait l'hypothèse que la canette était un cylindre infini et que le transfert était calculable en supposant que le gradient radial était nul (voir l'équation simplifiée en vert plus bas).

NOTE : Ce problème ne peut vous être proposé en examen. Il comporte des notions qui ne sont PAS couvertes dans les notes de 2.4. Il a été proposé par un membre de l'équipe de 2019-2020.

REponses

Question 1 : Combien de temps faut-il laisser une bière au congélateur pour la boire bien fraîche ?

1. Démarche à suivre

```

r= 2e-2 //m
Lc = r/2 //m, for cylinder
h = 7 //W/m2K heat transfer coef in still air

//Biot number
Bi = h*Lc/kw //Biot number, kw is the thermal conductivity of water (beer)

//Fourrier number
Fo = alphaw*time/Lc^2

//Dimensionless temperatures
Theta = Tfinal - Tinf
Tfinal = 5 //°C, drinking temperature
Tinf = -10 //°C, average freezer temperature
Thetai = Tini - Tinf
Tini = 20 //°C, average grocery store beer temperature

//Lumped capacitance analysis when Bi < 0.1
Theta/Thetai = exp(-Bi*Fo)
    
```

```

// Water property functions :T dependence, From Table A.6
// Units: T(K), p(bars);
x = 0 // Quality (0=sat liquid or 1=sat vapor)
T= (Tfinal+Tinf)/2 //°C, reference temperature
rho_w = rho_Tx("Water",T,x) // Density, kg/m^3
hfg = hfg_T("Water",T) // Heat of vaporization, J/kg
cpw = cp_Tx("Water",T,x) // Specific heat, J/kg·K
mu_w = mu_Tx("Water",T,x) // Viscosity, N·s/m^2
nu_w = nu_Tx("Water",T,x) // Kinematic viscosity, m^2/s
kw = k_Tx("Water",T,x) // Thermal conductivity, W/m·K
Prw = Pr_Tx("Water",T,x) // Prandtl number
sigmaw = sigma_T("Water",T) // Surface tension, N/m (liquid-vapor)
alphaw = kw/(rho_w*cpw)

// Time to drink it!
time_hours = time / 3600 // Time in hours
time_min = time / 60 // Time in minutes
    
```

2. Résultats

alphaw	1,349E-7	
Bi	0,123	
cpw	4217	J/kg·K
Fo	5,634	

hfg	2,502E6	J/kg
kw	0,569	W/m·K
Lc	0,01	m
muw	0,00175	N.s/m ²
nuw	1,75E-6	m ² /s
Prw	12,99	
rho	1000	kg/m ³
sigmaw	0,0755	N/m
T	273,1	°C
Theta	15	
Thetai	30	
time	4176	s
time_hours	1,16	Hours
time_min	69,6	Minutes
h	7	W/m ² K
r	0,02	m
Tfinal	5	°C
Tinf	-10	°C
Tini	20	°C
x	0	

Malgré les hypothèses formulées, on voit qu'une canette de bière devrait atteindre une température agréable en un peu plus de 60 minutes.

Ici il faut noter que la limite de validité de l'équation employée est $Bi < 0,1$ et que nous sommes légèrement au-dessus avec $Bi = 0,123$. Donc, strictement non valide.

Mais, fiez-vous à notre expérience, une heure au congélateur améliore grandement l'expérience gustative.