Fenômenos de Transporte III

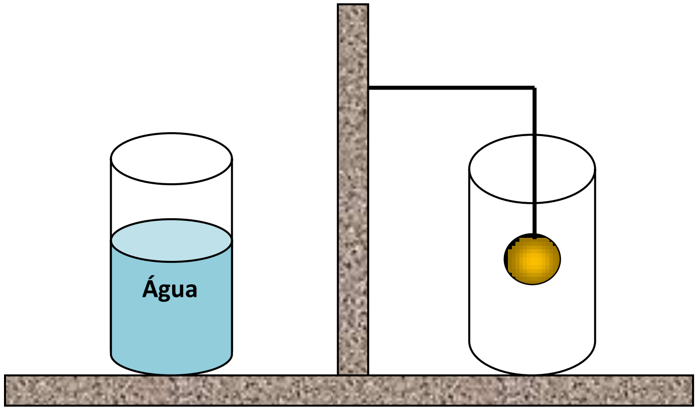
Aula 05

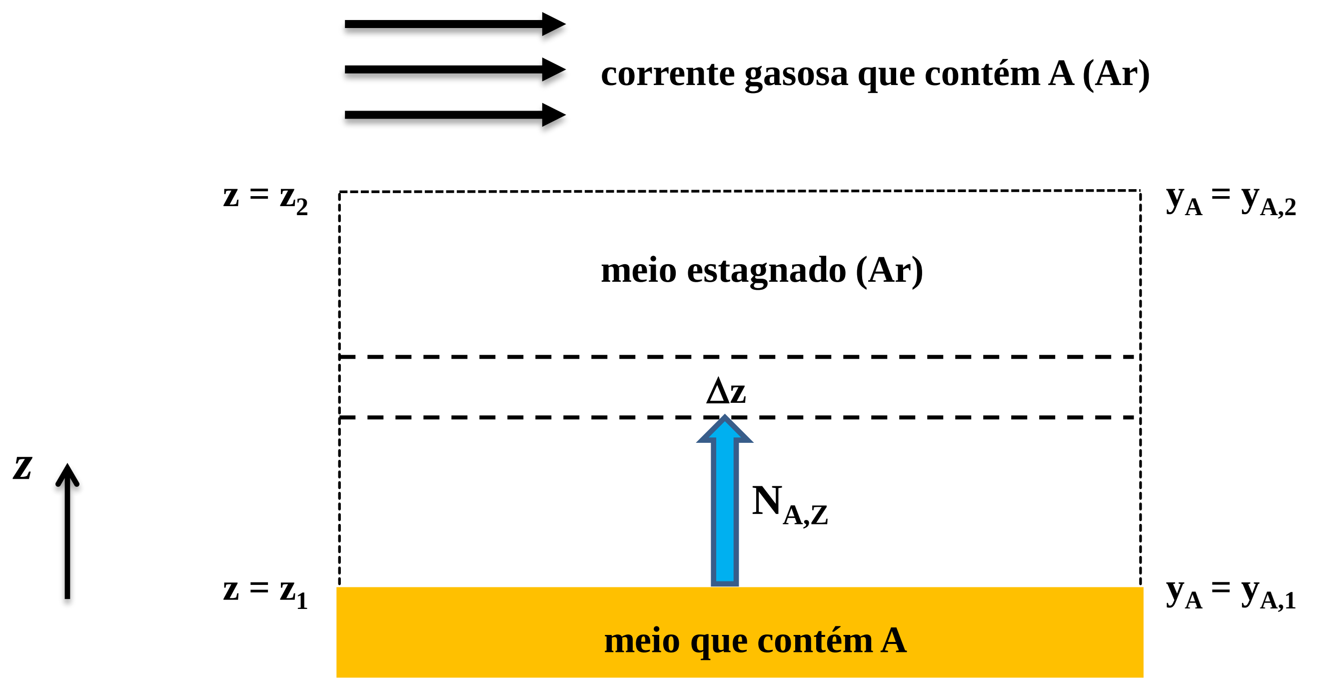
Prof. Gerônimo

6- DIFUSÃO EM REGIME PERMANENTE SEM REAÇÃO QUÍMICA

6.1- Considerações a respeito

Considere uma sala ampla contendo ar a 1 atm e 25°C. Coloque no centro da sala uma mesa que sustenta um tubo capilar semipreenchido com água e, separadamente, um tubo cilíndrico transparente contendo no seu interior uma esfera de naftaleno sustentada por um fio de arame. O ar está estagnado no interior e fora dos dois tubos. O processo de transferência de massa (evaporação da água e sublimação do naftaleno) ocorre no ar estagnado.





As distribuições de concentração dos vapores de água e de naftaleno no ar estagnado são descritas, em termos molares e mássicos, pelas equações a seguir:

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} + \vec{\nabla}.\vec{N}_A = R_A^{'''} \qquad \textbf{(Molar)}$$

$$\frac{\partial \rho_A}{\partial t} + \vec{\nabla}.\vec{n}_A = r_A^{'''} \qquad \textbf{(Mássico)}$$

Considerando que não há reação química (termo de geração ou consumo de A) e não há acúmulo (regime permanente), as equações da continuidade molar e mássica tornam-se:

$$\boxed{\vec{\nabla}.\vec{N}_A = 0} \qquad \textbf{(Molar)}$$

$$\boxed{\vec{\nabla}.\vec{n}_A = 0} \qquad \textbf{(Mássico)}$$

onde o fluxo de A seria:

$$\left.\begin{array}{ll}\vec{N}_A = -C.D_{AB}\vec{\nabla}y_A + y_A\left(\vec{N}_A + \vec{N}_B\right) & \text{(Fase gasosa)} \\[2em] \vec{N}_A = -C.D_{AB}\vec{\nabla}x_A + x_A\left(\vec{N}_A + \vec{N}_B\right) & \text{(Fase líquida)}\end{array}\right\}\ \textbf{(Molar)}$$

$$\vec{n}_A = -\rho D_{AB}\vec{\nabla}w_A + w_A\left(\vec{n}_A + \vec{n}_B\right) \quad \textbf{(Mássico)}$$

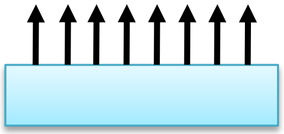
Tendo em vista a característica do meio de transporte, o fluxo global de matéria é governado pela *contribuição difusiva*, porém a *contribuição convectiva* aparecerá pelo simples fato de a difusão (movimento) do soluto induzir o movimento da mistura. Este efeito é cada vez mais pronunciado quando maior for a pressão de vapor do soluto.

6.2- Difusão unidimensional em regime permanente

Considerando que o fluxo de matéria seja numa única direção do eixo de coordenadas, teremos a seguintes equações da continuidade em regime permanente e sem reação química:

Coordenada retangular :

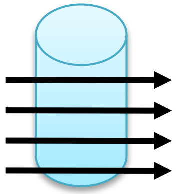
$$\frac{d}{dz} n_{A,Z} = 0$$



$$\frac{d}{dz} N_{A,Z} = 0$$

Coordenada cilíndrica :

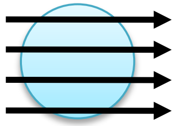
$$\frac{d}{dr}(r.n_{A,Z}) = 0$$



$$\frac{d}{dr}\left(r.N_{A,Z}\right) = 0$$

Coordenada esférica :

$$\frac{d}{dr}\left(r^2.n_{A,Z}\right) = 0$$



$$\frac{d}{dr}\left(r^2.N_{A,Z}\right) = 0$$

As equações em coordenadas retangulares apontam o fluxo de matéria constante: $n_{A,Z}$ = cte e $N_{A,Z}$ = cte. O restante das equações em coordenadas cilíndricas e esféricas mostram que a *taxa de matéria* é que vem a ser constante. No caso da *coordenada cilíndrica* para o fluxo molar, $rN_{A,Z}$ = cte , devemos multiplicar a equação diferencial em coordenadas cilíndricas por $2\pi L$ para obter a área lateral do cilindro ($2\pi rL$). Essa área é normal ao fluxo considerado. Assim, a *taxa de matéria* será:

$$\boxed{\begin{aligned} W_A &= (\text{Área})(\text{Fluxo}) \\ W_A &= (2\pi rL)(\text{Fluxo}) \end{aligned}}$$

(coordenadas cilíndricas)

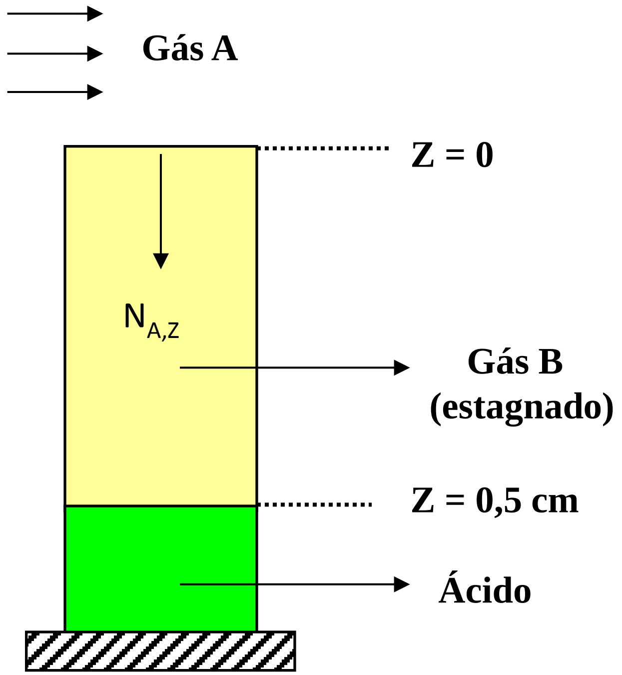
Do mesmo modo, para coordenadas esféricas, depois de integrada a equação diferencial fica: $r^2N_{A,Z}$ = cte. Ao multiplicarmos a equação por 4π obtemos $4\pi r^2N_{A,Z}$ = cte. Observe o termo $4\pi r^2$ representa a área superficial da esfera, que por sua vez é normal ao fluxo do difundente. A *taxa de matéria* será a mesma. Lembre-se que quando trabalhar com coordenadas cilíndricas e esféricas deve-se substituir o subscrito <u>z</u> por <u>r</u>.

$$\boxed{\begin{aligned} W_A &= (\text{Área})(\text{Fluxo}) \\ W_A &= (4\pi r^2)(\text{Fluxo}) \end{aligned}}$$

(coordenadas esféricas)

6.2.1- Difusão em regime permanente através de filme gasoso inerte e estagnado

Exemplo 1: Um gás "A" difunde por uma película estagnada de ar (gás "B"), de 0,5 cm de profundidade num tubo capilar que contém um determinado ácido. Na interface gás/líquido o gás "A" é absorvido instantaneamente pelo ácido. A concentração do gás na borda do recipiente é 0,25 % em moles e na superfície gás/líquido é nula. Considerando que o processo de transferência de massa ocorra em regime permanente e temperatura e pressão constante, determine o perfil de fração molar do soluto "A" entre a borda do tubo e a superfície gás/líquido e o fluxo molar de "A" na superfície do líquido.



Solução:

$$\boxed{\frac{\partial C_A}{\partial t} + \vec{\nabla}\cdot\vec{N}_A = R_A'''} \qquad \textbf{(1)}$$

Hipóteses:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial C_A}{\partial t} = 0 \\ R_A''' = 0 \\ \vec{\nabla}\cdot\vec{N}_A = \dfrac{dN_{A,z}}{dz} \end{cases}$$

<u>Fluxo da espécie gasosa A</u>:

$$\boxed{N_{A,Z} = -CD_{AB}\frac{dy_A}{dz} + y_A\left(N_{A,Z} + N_{B,Z}\right)} \qquad \textbf{(2)}$$

Aplicando as hipóteses na equação (1), temos:

$$\vec{\nabla}.\vec{N}_A = \frac{dN_{A,z}}{dz} = 0 \qquad \textbf{(3)}$$

O gás B está estagnado, portanto temos que:

$$N_{B,Z} = 0 \qquad \textbf{(4)}$$

Aplicando (4) em (2), temos:

$$N_{A,Z} = -CD_{AB}\frac{dy_A}{dz} + y_A\left(N_{A,Z} + 0\right)$$

$$N_{A,Z} - y_A N_{A,Z} = -CD_{AB}\frac{dy_A}{dz}$$

$$N_{A,Z}(1 - y_A) = -CD_{AB}\frac{dy_A}{dz}$$

$$N_{A,Z} = -\frac{CD_{AB}}{(1 - y_A)}\frac{dy_A}{dz} \qquad \textbf{(5)}$$

Substituindo a equação (5) na equação (3), temos:

$$\boxed{\frac{d}{dz}\left[-\frac{CD_{AB}}{(1 - y_A)}\frac{dy_A}{dz}\right] = 0} \qquad \textbf{(6)}$$

<u>Condições de Contorno</u>:

CC1: Para $z_1 = 0$, $y_{A,1} = 0{,}0025$
CC2: Para $z_2 = 0{,}5cm$ $y_{A,2} = 0$ (o gás A é absorvido instantaneamente pelo líquido)

Considerando T e P constantes e gases ideais, temos que P = CRT e D_{AB} = Constante

<u>Equação 2ª ordem homogênea</u>

$$\boxed{\frac{d}{dz}\left[\frac{1}{(1-y_A)}\frac{dy_A}{dz}\right] = 0} \qquad \textbf{(7)}$$

Integrando a equação (7), temos:

$$\int \frac{d}{dz}\left[-\frac{1}{(1-y_A)}\frac{dy_A}{dz}\right] = 0$$

$$\int d\left[\frac{1}{(1-y_A)}\frac{dy_A}{dz}\right] = 0$$

$$\frac{1}{(1-y_A)}\frac{dy_A}{dz} = C_1 \rightarrow \int \frac{dy_A}{(1-y_A)} = C_1 \int dz$$

$$\boxed{-Ln(1-y_A) = C_1 z + C_2} \qquad \textbf{(8)}$$

Condições de Contorno:

CC1: $$-\mathrm{Ln}(1 - y_{A,1}) = C_1 z_1 + C_2 \quad (x\,\text{-}1)$$

CC2: $$-\mathrm{Ln}(1 - y_{A,2}) = C_1 z_2 + C_2$$

$$\mathrm{Ln}(1 - y_{A,1}) - \mathrm{Ln}(1 - y_{A,2}) = C_1 z_2 - C_1 z_1 = C_1 (z_2 - z_1)$$

$$\boxed{C_1 = \frac{1}{(z_2 - z_1)} \mathrm{Ln}\left(\frac{1 - y_{A,1}}{1 - y_{A,2}}\right)} \quad \textbf{(9)}$$

Aplicando a equação (9) na CC1, temos:

$$-\mathrm{Ln}(1 - y_{A,1}) = \frac{z_1}{(z_2 - z_1)} \mathrm{Ln}\left(\frac{1 - y_{A,1}}{1 - y_{A,2}}\right) + C_2$$

$$\boxed{C_2 = -\mathrm{Ln}(1 - y_{A,1}) - \frac{z_1}{(z_2 - z_1)} \mathrm{Ln}\left(\frac{1 - y_{A,1}}{1 - y_{A,2}}\right)} \quad \textbf{(10)}$$

Substituindo as equações (9), (10) em (8), temos:

$$-\mathrm{Ln}(1 - y_A) = \frac{z}{(z_2 - z_1)}\mathrm{Ln}\left(\frac{1 - y_{A,1}}{1 - y_{A,2}}\right) - \frac{z_1}{(z_2 - z_1)}\mathrm{Ln}\left(\frac{1 - y_{A,1}}{1 - y_{A,2}}\right) - \mathrm{Ln}(1 - y_{A,1})$$

$$\Downarrow$$

$$\mathrm{Ln}(1 - y_A) - \mathrm{Ln}(1 - y_{A,1}) = \left(\frac{z - z_1}{z_2 - z_1}\right)\mathrm{Ln}\left(\frac{1 - y_{A,2}}{1 - y_{A,1}}\right)$$

$$\mathrm{Ln}\left(\frac{1 - y_A}{1 - y_{A,1}}\right) = \left(\frac{z - z_1}{z_2 - z_1}\right)\mathrm{Ln}\left(\frac{1 - y_{A,2}}{1 - y_{A,1}}\right)$$

$$\Downarrow$$

$$\boxed{\left(\frac{1 - y_A}{1 - y_{A,1}}\right) = \left(\frac{1 - y_{A,2}}{1 - y_{A,1}}\right)^{\left(\frac{z - z_1}{z_2 - z_1}\right)}}$$

(11) **<u>Solução final para A</u>**

O perfil da fração molar do soluto B é:

$$y_A + y_B = 1 \quad \Rightarrow \quad y_B = 1 - y_A$$

$$y_{A,1} + y_{B,1} = 1 \quad \Rightarrow \quad y_{B,1} = 1 - y_{A,1} \quad (\text{na borda do tubo})$$

$$y_{A,2} + y_{B,2} = 1 \quad \Rightarrow \quad y_{B,2} = 1 - y_{A,2} \quad (\text{na superfície gás/líq.})$$

$$\boxed{\left(\frac{y_B}{y_{B,1}}\right) = \left(\frac{y_{B,2}}{y_{B,1}}\right)^{\left(\frac{z - z_1}{z_2 - z_1}\right)}} \qquad (12)$$

<u>Solução final para B</u>

Cálculo da fração média das espécies A e B.

Primeiramente definimos a fração média da espécie B, como sendo:

$$\boxed{\bar{y}_B = \frac{\int_{\upsilon} y_B d\upsilon}{\int_{\upsilon} d\upsilon}}$$

υ = Ípsilon

onde υ = xyz é o volume do meio difusivo em coordenadas cartesianas. Visto que estamos tratando de fluxo unidirecional em z, a variação do volume será dυ = xydz , com x e y constantes. Desse modo, a definição fica:

$$\bar{y}_B = \frac{\int_{z_1}^{z_2} y_B dz}{\int_{z_1}^{z_2} dz}$$

$$\left(\frac{y_B}{y_{B,1}}\right) = \left(\frac{y_{B,2}}{y_{B,1}}\right)^{\left(\frac{z - z_1}{z_2 - z_1}\right)} \Rightarrow \bar{y}_B = \frac{y_{B,1}\int_{z_1}^{z_2}\left(\frac{y_{B,2}}{y_{B,1}}\right)^{\left(\frac{z - z_1}{z_2 - z_1}\right)} dz}{\int_{z_1}^{z_2} dz}$$

Ψ = Psi

$$\Psi = \frac{z - z_1}{z_2 - z_1} \; ; \; d\Psi = \frac{dz}{z_2 - z_1} \quad dz = (z_2 - z_1)\, d\Psi$$

$$\text{para } z = z_1 \Rightarrow \Psi = 0$$

$$\text{para } z = z_2 \Rightarrow \Psi = 1$$

$$\bar{y}_B = \frac{y_{B,1}\int_0^1\left(\frac{y_{B,2}}{y_{B,1}}\right)^{\Psi} \cancel{(z_1 - z_2)}\, d\Psi}{\cancel{(z_1 - z_2)}\int_0^1 d\Psi}$$

$$\boxed{\int a^x dx = \frac{a^x}{\ln a}}$$

$$\bar{y}_B = y_{B,1}\left[\frac{\left(\frac{y_{B,2}}{y_{B,1}}\right)^{\Psi}}{\ln\left(\frac{y_{B,2}}{y_{B,1}}\right)}\right]_0^1 = \frac{y_{B,1}}{\ln\left(\frac{y_{B,2}}{y_{B,1}}\right)}\left[\left(\frac{y_{B,2}}{y_{B,1}}\right)^1 - \left(\frac{y_{B,2}}{y_{B,1}}\right)^0\right]$$

$$\bar{y}_B = \frac{y_{B,1}}{\ln\left(\frac{y_{B,2}}{y_{B,1}}\right)}\left[\left(\frac{y_{B,2}}{y_{B,1}}\right) - 1\right] = \frac{1}{\ln\left(\frac{y_{B,2}}{y_{B,1}}\right)}\left[y_{B,2} - y_{B,1}\right]$$

$$\boxed{\bar{y}_B = \frac{\left(y_{B,2} - y_{B,1}\right)}{\ln\left(\frac{y_{B,2}}{y_{B,1}}\right)}}$$

$$\boxed{\bar{y}_A = 1 - \bar{y}_B}$$

Para determinar o fluxo, $N_{A,Z}$, devemos integrar a equação (5) entre as condições de contorno, CC1 e CC2, e considerando que o coeficiente de difusão D_{AB} seja independente da concentração ou fração molar e que $N_{A,Z}$ seja constante na superfície gás/líquido. Assim, temos:

$$N_{A,Z} = -\frac{CD_{AB}}{(1 - y_A)} \frac{dy_A}{dz}$$

$$N_{A,Z} \int_{z_1}^{z_2} dz = -CD_{AB} \int_{y_{A,1}}^{y_{A,2}} \frac{dy_A}{1 - y_A}$$

$$N_{A,Z}(z_2 - z_1) = CD_{AB}\left[Ln(1 - y_A)\right]_{y_{A,1}}^{y_{A,2}}$$

$$N_{A,Z}(z_2 - z_1) = CD_{AB}\left[Ln(1 - y_{A,2}) - Ln(1 - y_{A,1})\right]$$

$$\boxed{N_{A,Z} = \frac{CD_{AB}}{z_2 - z_1} Ln\left(\frac{1 - y_{A,2}}{1 - y_{A,1}}\right)} \quad \textbf{(13)}$$

A equação (13) pode ser escrita em termos de pressão parcial considerando uma mistura gasosa (A + B) ideal:

$$PV = nRT \Rightarrow P = \frac{n}{V}RT \Rightarrow P = CRT$$

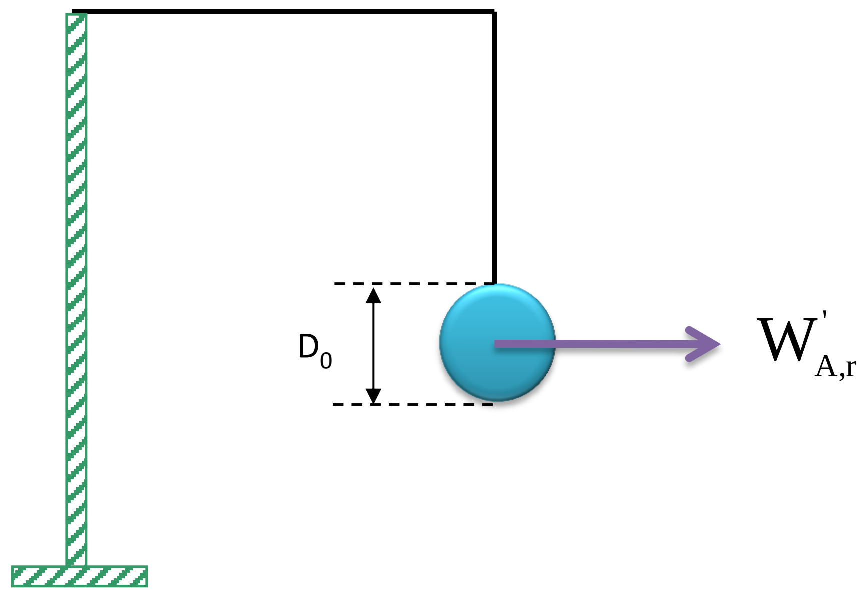
$$C = \frac{P}{RT} \Rightarrow C_A = \frac{P_A}{RT} \Rightarrow y_A = \frac{C_A}{C} \Rightarrow y_A = \frac{P_A}{P} \quad (14)$$

Substituindo a equação (14) na equação (13):

$$\boxed{N_{A,Z} = \frac{PD_{AB}}{RT(z_2 - z_1)} Ln\left(\frac{P - P_{A,2}}{P - P_{A,1}}\right)}$$

6.2.2- Obtenção do coeficiente de difusão em gases: o experimento da esfera isolada.

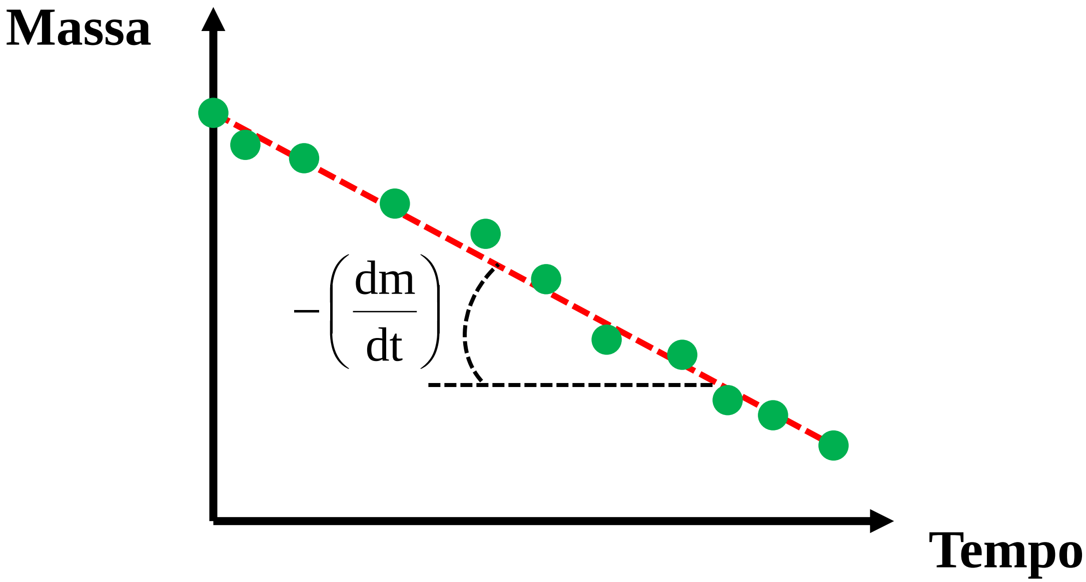
Um soluto A puro de geometria esférica e diâmetro D_o é posto num ambiente espaçoso, estagnado e inerte, conforme ilustra a Figura a seguir:



Supondo que *não há variação significativa do diâmetro da esfera*, mas que se consiga medir a variação da sua massa num intervalo de tempo considerável, a *taxa mássica de sublimação de um sólido* (ou evaporação de um líquido) de A, $W'_{A,r}$, obtida experimentalmente é dado por:

$$\boxed{W'_{A,r} = -\left(\frac{dm}{dt}\right)} \quad (1)$$

A Figura a seguir representa a variação da massa pelo tempo de um soluto A evaporando ou sublimando:



onde o sinal negativo indica o decréscimo da massa *m* do corpo-de-prova no tempo. Admitir somente o fluxo do soluto A na direção radial da esfera.
A *taxa molar de A* fluindo radialmente ao longo de toda a capa esférica é dado pela seguinte equação:

$$\boxed{W_{A,r} = 4\pi r^2 N_{A,r} = cte} \qquad (2)$$

Portanto, a taxa molar de A experimental pode ser obtida através da seguinte equação:

$$\boxed{W_{A,r} = \frac{W'_{A,r}}{M_A}} \qquad (3)$$

sendo M_A a massa molar da espécie A.

Determine o coeficiente de difusão do soluto A no meio B (D_{AB})

Solução: O fluxo global de A na direção do raio da partícula é:

$$\boxed{N_{A,r} = -CD_{AB}\frac{dy_A}{dr} + y_A\left(N_{A,r} + N_{B,r}\right)} \qquad (4)$$

Visto que o ar está estagnado: $N_{B,r} = 0$, a equação (4) fica:

$$\boxed{N_{A,r} = -\left(\frac{C.D_{AB}}{1-y_A}\right)\frac{dy_A}{dr}} \qquad (5)$$

Multiplicando a equação (5) por $4\pi r^2$, temos:

$$\boxed{4\pi\, r^2 N_{A,r} = -\left(\frac{4\pi\, r^2 C.D_{AB}}{1-y_A}\right)\frac{dy_A}{dr}} \qquad \textbf{(6)}$$

Em virtude de $4\pi r^2.N_{A,r} = W_{A,r}$ = cte, temos que:

$$\boxed{W_{A,r} = -\left(\frac{4\pi\, r^2 C.D_{AB}}{1-y_A}\right)\frac{dy_A}{dr}} \qquad \textbf{(7)}$$

<u>Condições de contorno</u>:

<u>CC1</u>: para r = R; $y_A = y_{A0}$, com $y_{A0} = P_A^{VAP}/P$, que é a condição de equilíbrio na superfície do corpo-de-prova.

<u>CC2</u>: para $r \to \infty$; $y_A = y_{A\infty}$

A equação (7) é integrada por intermédio de:

$$W_{A,r} \int_{r=R_0}^{r=\infty} \frac{dr}{r^2} = -4\pi\, C.D_{AB} \int_{y_{A0}}^{y_{A\infty}} \frac{dy_A}{1-y_A}$$

$$\boxed{W_{A,r} = 4\pi\, R_0.C.D_{AB} Ln\left(\frac{1-y_{A\infty}}{1-y_{A0}}\right)} \qquad \mathbf{(\ 8\ )}$$

Da equação (8) é possível determinar o coeficiente de difusão D_{AB} desde que se conheçam os valores da taxa molar ($W_{A,r}$), das frações molares do soluto A na superfície do corpo-de-prova (y_{A0}) e no meio gasoso estagnado ($y_{A\infty}$), bem como as condições de temperatura e pressão desse meio para poder calcular o valor da concentração molar total (C).
Portanto, o coeficiente de difusão D_{AB} é dado por:

$$\boxed{D_{AB} = \frac{W_{A,r}}{4\pi\, R_0\; C\, Ln\left(\frac{1-y_{A\infty}}{1-y_{A0}}\right)}} \qquad \mathbf{(\ 9\ )}$$

A equação (9) é adequada para solutos voláteis. Por outro lado, quando se trabalha com a evaporação de líquidos voláteis à baixa temperatura (evaporação de água em ar seco a < 10°C) ou na sublimação de sólidos (naftaleno), a equação (9) pode ser simplificada em virtude da contribuição convectiva ser desprezível em face à difusiva. Nesse caso temos:

$$\boxed{N_{A,r} = -CD_{AB}\frac{dy_A}{dr}} \qquad \textbf{(10)}$$

Multiplicando a equação (10) por $4\pi r^2$, temos:

$$\boxed{4\pi r^2 N_{A,r} = -4\pi r^2 C.D_{AB}\frac{dy_A}{dr}} \qquad \textbf{(11)}$$

Em virtude de $4\pi r^2.N_{A,r} = W_{A,r}$ = cte, temos que:

$$\boxed{W_{A,r} = -4\pi r^2 C.D_{AB}\frac{dy_A}{dr}} \qquad \textbf{(12)}$$

<u>Condições de contorno</u>:

<u>CC1</u>: para r = R; y_A = y_{A0}, com y_{A0} = P_A^{VAP}/P, que é a condição de equilíbrio na superfície do corpo-de-prova.

<u>CC2</u>: para $r \to \infty$; $y_A = y_{A\infty} \to 0$

A equação (11) é integrada por intermédio de:

$$W_{A,r} \int_{r=R_0}^{r=\infty} \frac{dr}{r^2} = -4\pi\, C.D_{AB} \int_{y_{A0}}^{y_{A\infty}=0} dy_A$$

$$\boxed{W_{A,r} = 4\pi\, R_0.C.D_{AB}\, y_{A0}} \quad \textbf{(13)} \qquad \boxed{y_{A0} = \frac{C_{A0}}{C}} \quad \textbf{(14)}$$

Portanto, o coeficiente de difusão D_{AB} é dado por:

(Contribuição convectiva desprezível)

$$\boxed{D_{AB} = \frac{W_{A,r}}{4\pi\, R_0\, C_{A0}}} \quad \textbf{(15)}$$

Exemplo 2: **Uma esfera de naftaleno está sujeita à sublimação num recipiente estagnado e relativamente espaçoso a 72°C e 1 atm, conforme a figura anterior. Retirou-se a esfera ao longo do tempo, pesando-a e medindo o seu raio. Após 330 min, observou-se o seguinte comportamento:**

Tempo (min)	0	10	23	43	73	125	150	190	240	295	330
Massa (g)	2,44	2,43	2,42	2,41	2,39	2,36	2,35	2,31	2,28	2,23	2,21
Raio (cm)	0,85	0,85	0,85	0,85	0,84	0,84	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82

Calcule o coeficiente de difusão do naftaleno no ar em cm^2/s, considerando constante o diâmetro em 1,68cm. Compare o resultado obtido com o valor do D_{AB} experimental que, a T = 25°C, é $0,0611 cm^2/s$.

Dados:

$\rho_{naf.} = 1,14\ g/cm^3$; $M_{naf.} = 128,16\ g/gmol$; $R = 82,05\ atm.cm^3/gmol.K$

$\log P^{vap}_{naf.} = 10,56 - 3472/T$; na qual T = [K] e P = [mmHg]

Solução: Denominando o naftaleno como sendo a espécie A, iremos estabelecer uma expressão para a determinação do seu coeficiente de difusão em função do conhecimento da sua fração molar na interface sólido/gás, pois já sabemos, por intermédio do enunciado, que $y_{A\infty} = 0$ (não há naftaleno no ar).

$$y_{A_0} = \frac{P_A^{vap}}{P}$$

em que:

$$\operatorname{Log} P_A^{vap} = 10{,}56 - \frac{3472}{T}$$

$$T = 72 + 273{,}15 = 345{,}15\,K$$

$$\operatorname{Log} P_A^{vap} = 10{,}56 - \frac{3472}{345{,}15} = 0{,}5006$$

$$P_A^{vap} = 10^{0{,}5006} = 3{,}1667\ mmHg = 0{,}00417\ atm$$

Visto que P = 1 atm, temos:

$$y_{A_0} = 0{,}00417$$

Utilizando o meio convectivo desprezível, pelo fato de $y_{A0} << 1$ e $y_{A\infty} = 0$, o coeficiente de difusão é calculado pela seguinte equação:

$$\boxed{D_{AB} = \frac{W_{A,r}}{4\pi R_0 C_{A0}}}$$

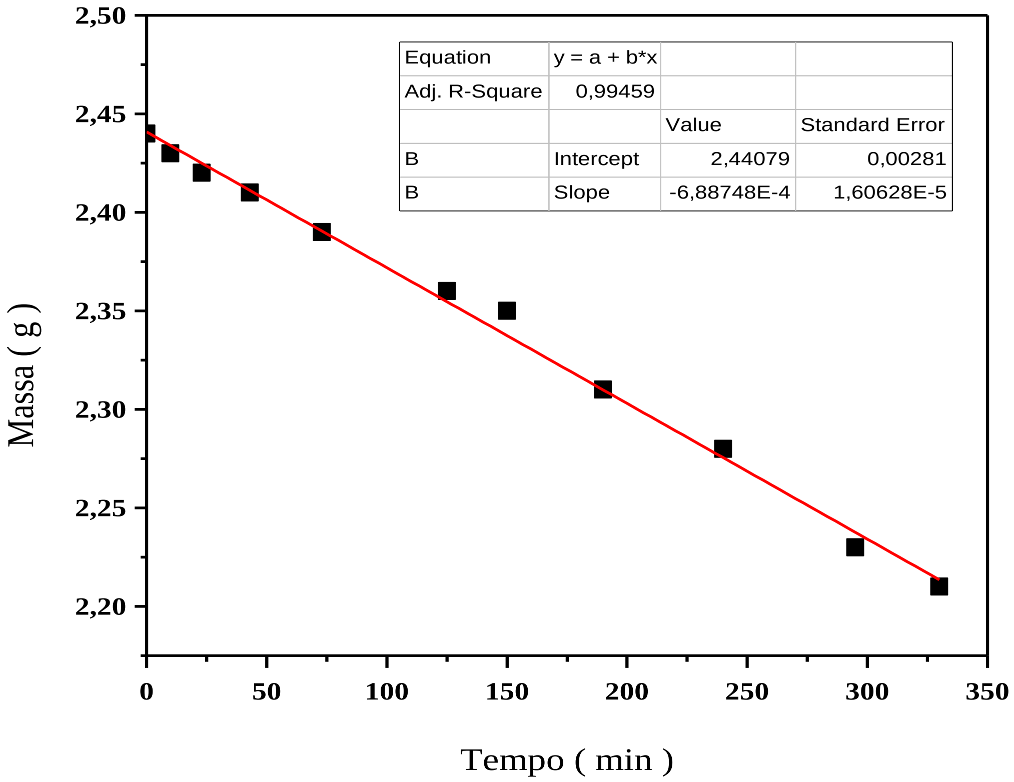
***a) Determinação da taxa molar de sublimação*:**

$$W'_{A,r} = -\left(\frac{dm}{dt}\right) \quad [g/min]$$

A taxa molar de sublimação do naftaleno relaciona-se com a mássica segundo:

$$W_{A,r} = \frac{W'_{A,r}}{M_A} \quad [gmol/min]$$

Por intermédio de regressão linear dos dados fornecidos pela tabela de Massa vs. Tempo, obtém-se o valor da taxa mássica:



$$W'_{A,r} = -\left(-6{,}89x10^{-4}\right)g/min = \frac{6{,}89x10^{-4}\, g/min}{60s/min}$$

$$W'_{A,r} = 1{,}148x10^{-5}\ g/s$$

$$W_{A,r} = \frac{W'_{A,r}}{M_A} = \frac{1{,}148\text{x}10^{-5}\ \text{g/s}}{128{,}16\ \text{g/gmol}}$$

$$W_{A,r} = 89{,}6\text{x}10^{-9}\ \text{gmol/s}$$

***b) Determinação do raio da esfera*:**

$$R_0 = \frac{D}{2} = \frac{1{,}68\text{cm}}{2} = 0{,}84\text{cm}$$

***c) Determinação da concentração de equilíbrio do naftaleno*:**

$$C_{A_0} = y_{A_0} C \quad [\text{gmol/cm}^3]$$

Supondo o ar como uma mistura gasosa ideal, fica:

$$C_{A_0} = y_{A_0} \frac{P}{RT} \quad [\text{gmol/cm}^3]$$

$$C_{A_0} = 0{,}00417 \frac{1\text{atm}}{82{,}05\text{atm.cm}^3/\text{gmol.K}\ 345{,}15\text{K}}$$

$$C_{A_0} = 1{,}471\text{x}10^{-7}\ \text{gmol/cm}^3$$

d) Determinação do coeficiente de difusão do naftaleno:

$$D_{AB} = \frac{W_{A,r}}{4\pi\, R_0\, C_{A0}} = \frac{89{,}6x10^{-9}\,\text{gmol/s}}{(4\pi)(0{,}84\text{cm})(1{,}471x10^{-7}\,\text{gmol/cm}^3)}$$

$$D_{AB} = 0{,}0577\,\text{cm}^2/\text{s}$$

Esse resultado é obtido para T = 345,15K (72°C). Para que tenhamos um valor de comparação, estimaremos o coeficiente de difusão a T = 25°C (298,15K). Utilizaremos a equação a seguir:

$$D_{AB}\big|_{T=298,15K} = D_{AB}\big|_{T=345,15K}\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{1,75}$$

$$D_{AB}\big|_{T=298,15K} = 0{,}0577\text{cm}^2/\text{s}\left(\frac{298{,}15\text{K}}{345{,}15\text{K}}\right)^{1,75}$$

$$D_{AB}\big|_{T=298,15K} = 0{,}0447\,\text{cm}^2/\text{s}$$

Como o valor experimental é igual a D_{AB} = 0,0611cm²/s, determina-se o desvio relativo por:

$$D.R = \frac{|\text{cal.} - \text{exp.}|}{\text{exp.}}x100\% = \frac{|0{,}0447 - 0{,}0611|}{0{,}0611}x100\%$$

$$D.R = 26{,}91\%$$