passar a lista de presença

distribuir artigo do Thelcio — J. Vac. Sci Technology 14(2) (1980) 66

Resumo da aula anterior

Cálculo de condutâncias no regime molecular ($\lambda >> D$)

(1) Condutância de um orifício

$$Q = P\frac{\Delta V}{\Delta t} = kT\frac{\Delta N}{\Delta t} \qquad Q = C\Delta P$$

$$C = 3{,}64\left(\frac{T}{M}\right)^{1/2} A \ (\ell/s) \implies \boxed{C \propto \sqrt{\frac{T}{M}}}$$

dependência com T e M

para N_2 $T = 293\,K$

$$C_{N_2} = 12A \ [\ell/s]$$

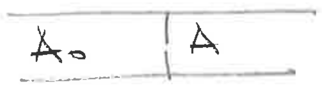
A [cm²]
C [ℓ/s]

orifício circular

$$\boxed{C_{o\,N_2} = 9D^2}$$

D [cm]
C_o [ℓ/s]

(2) Condutância de um diafragma



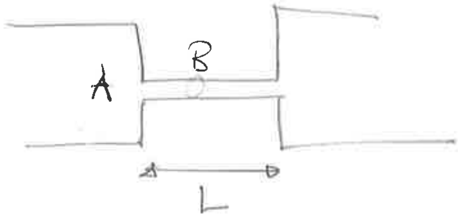
$$C_{ef} = 12A\left(\frac{A_0}{A_0 - A}\right)$$

$$C_{ef} = 9D^2\left(\frac{D_0^2}{D_0^2 - D^2}\right)$$

Casos

- $A << A_0$ $\boxed{C_{ef} \sim C_A}$
- $A \sim A_0$ $\boxed{C_{ef} \sim \infty}$
- $A = A_0/2$ efeito diafragma $\boxed{C_{ef} = 2C_A}$

③ Regime molecular - Condutância de um tubo



$$C = \frac{16K}{3}\sqrt{\frac{kT}{2\pi m}}\,\frac{A^2}{BL}$$

$K = 1$ p/ Tubos cilíndricos

$$\boxed{C = \frac{4}{3}\,\bar{v}\,\frac{A^2}{BL}}$$

$$\boxed{C = \frac{\pi}{12}\,v\,\frac{D^3}{L}}$$

Para N_2 tubo cilíndrico

$$\boxed{C_{ar} = \frac{12 D^3}{L}}$$

D (cm)
L (cm)
C (l/s)

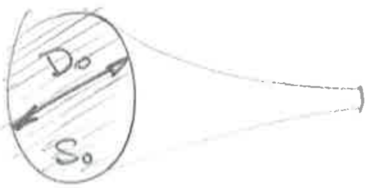
④ Cálculo de condutância de tubos

- quadrado
- retangular
- elíptico
- triangular

Expressão Geral

$$\boxed{C = K\,\frac{4}{3}\,\frac{\bar{v}}{\int_0^L \frac{B}{A^2}\,dl}}$$

Regime molecular - Vuvuzela



$$\boxed{S = S_0 e^{-\beta x}}$$

área $\quad A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi D_0^2 e^{-\beta x}}{4}$

$$\begin{cases} D^2 = D_0^2 e^{-\beta x} \\ D = D_0 e^{-\frac{\beta x}{2}} \end{cases}$$

perímetro $\quad B = 2\pi R = \pi D$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \qquad A^2 = \frac{\pi^2 D^4}{16} \Longrightarrow \frac{B}{A^2} = \frac{\pi D}{\frac{\pi^2 D^4}{16}} = \frac{16}{\pi D^3}$$

Equação Geral

$$\boxed{C = \frac{4}{3} K \frac{\bar{v}}{\int_0^L \frac{B\,dl}{A^2}}}$$

$$I = \int_0^L \frac{B}{A^2} dx = \int_0^L \frac{16}{\pi D^3} dx = \frac{16}{\pi} \int_0^L D^{-2} D^{-1} dx$$

substituindo D

$$I = \frac{16}{\pi} \int_0^L \left(D_0^{-2} e^{+\beta x}\right)\left(D_0^{-1} e^{+\frac{\beta x}{2}}\right) dx$$

$$I = \frac{16}{D_0^3 \pi} \cdot \int_0^L e^{\frac{3}{2}\beta x} dx = \frac{16}{D_0^3 \pi} \frac{2}{3} \frac{1}{\beta} e^{\frac{3}{2}\beta x} \Big|_0^L =$$

$$I = \frac{32}{3} \frac{1}{D_0^3 \pi \beta} \left[e^{\frac{3}{2}\beta L} - e^0\right] = \frac{32}{3\pi\beta D_0^3} \left[e^{\frac{3}{2}\beta L} - 1\right]$$

substituindo na eq. geral

$$C = \frac{4}{3} K \bar{v} \frac{3\pi\beta D_0^3}{32} \left[e^{\frac{3}{2}\beta L} - 1\right]^{-1}$$

$$\therefore \boxed{C = \frac{K \bar{v} \pi \beta D_0^3}{8} \left[e^{\frac{3\beta L}{2}} - 1\right]^{-1}}$$

Para $\beta \to 0$

$$C = \lim_{\beta \to 0} \frac{k \bar{v} \pi \beta D_o^3}{8} \left[e^{\frac{3\beta L}{2}} - 1 \right]^{-1}$$

$$C = \lim_{\beta \to 0} \frac{k \bar{v} \pi D_o^3}{8} \left[\frac{\beta}{e^{\frac{3\beta L}{2}} - 1} \right]$$

Regra de L'Hopital

$$C = \lim_{\beta \to 0} \frac{k \bar{v} \pi D_o^3}{8} \left[\frac{1}{\frac{3L}{2} e^{\frac{3\beta L}{2}}} \right] = \frac{k \bar{v} \pi D_o^3}{12 L}$$

Para tubo circular $k = 1$

então $\boxed{C = \frac{\bar{v} \pi D_o^3}{12 L}}$ Expressão p/ tubo circular

Como $\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$ p/ $T = 20°C$ $T = 293\,K$

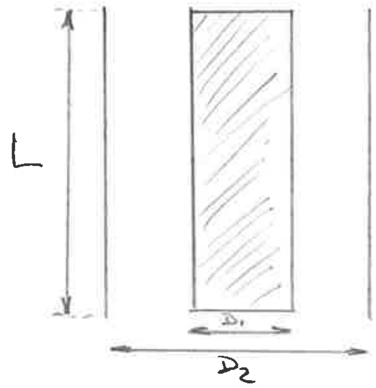
$$\bar{v} = 14\,550 \left(\frac{T}{M} \right)^{1/2} \frac{cm}{s} = 14\,550 \left(\frac{293}{28} \right)^{1/2} \frac{cm}{s} = 47070 \frac{cm}{s}$$

então $C = \frac{\pi}{12 L} (47070) \frac{D_o^3}{L} \left[\frac{cm^3}{s} \right]$

$$C = 12300 \frac{D_o^3}{L} \left[\frac{cm^3}{s} \right]$$

$$\therefore \boxed{C = 12{,}3 \frac{D_o^3}{L}} \quad [\ell/s]$$

Condutância de um duto anular



Regime molecular

hipótese de Knudsen

$$D_{transmissão} \propto \frac{A}{BL}$$

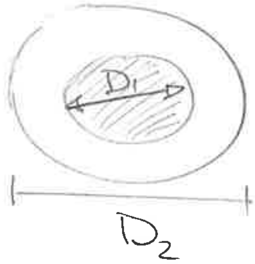
$$\boxed{C = \frac{4}{3} K \frac{\bar{v}}{\int_0^L \frac{B\,d\ell}{A^2}}}$$ Equação Geral

Para seção reta constante

$$\boxed{C = \frac{4}{3} K \bar{v} \frac{A^2}{BL}}$$

Superfície de um duto anular

$$\begin{cases} BL = \pi D_1 L + \pi D_2 L = \pi L (D_1 + D_2) \\ A = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) \end{cases}$$



$$C = \frac{4}{3} K \bar{v} \frac{A^2}{BL} = \frac{4}{3} K \bar{v} \frac{\pi^2}{16} \frac{(D_2^2 - D_1^2)^2}{\pi L (D_1 + D_2)}$$

lembrando que $(a+b)(a-b) = a^2 - \cancel{ab} + \cancel{ba} - b^2 = a^2 - b^2$, temos:

$$C = \frac{K \bar{v}}{12} \frac{\pi}{L} \frac{[(D_1 + D_2)(D_2 - D_1)]^2}{D_1 + D_2}$$

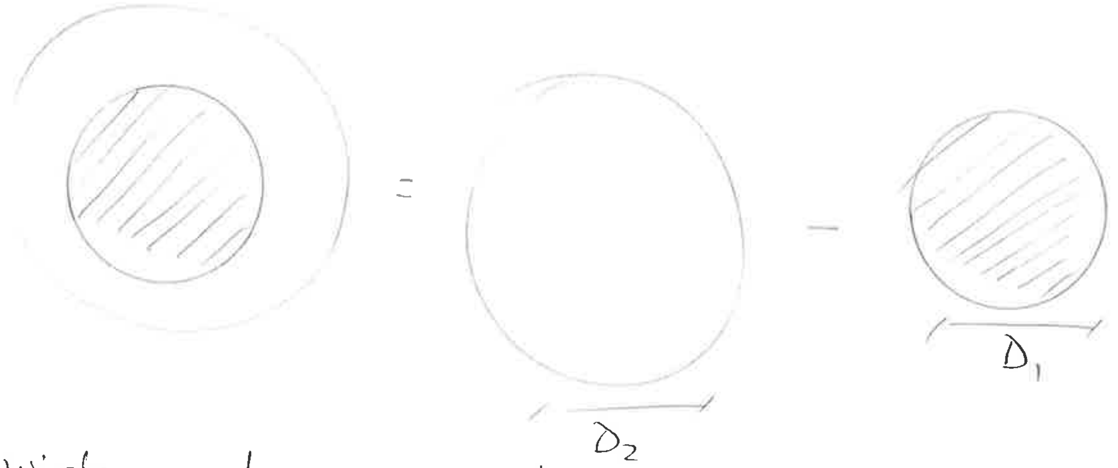
Para $T = 20°C$ N_2 $\bar{v} = 47070 \text{ cm/s}$

$$\boxed{C \cong \frac{12 K}{L} (D_2 - D_1)^2 (D_1 + D_2)} \quad \ell/s$$

(I)

Maneira alternativa de fazer o cálculo (arruela)

H Oucsic J. Vac. Sci. Tech 17(2) (1980) 661



Considerando a condutância de um duto circular

$$C = \frac{12 D^3}{L}, \text{ então:}$$

$$C_T = \frac{12 D_2^3}{L} - \frac{12 D_1^3}{L} = \frac{12}{L}(D_2^3 - D_1^3) \times H \qquad (II)$$

Como eq (I) = (II), então

$$H = (1 - r^2)(1 + r + r^2)^{-1} K' \qquad \text{onde} \quad r = D_1/D_2$$

Como $H + r \sim 1{,}0$ então $\boxed{H = 1 - \frac{D_1}{D_2}}$

$$\therefore \boxed{C = \frac{12}{L}(D_2^3 - D_1^3)\left(1 - \frac{D_1}{D_2}\right)}$$

Equação mais prática por ser resultante da subtração e usa um fator de multiplicação H simples.

Mostrar transparência

Exercício 16 - lista 2

Calcular a condutância para $T = -196\,°C$

$$C \propto \sqrt{\frac{T}{M}} \qquad T_{N_2} \text{ líquido} \simeq -196\,°C \simeq 77\,K$$

$$\frac{C_1}{C_2} \propto \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \qquad \frac{C_1}{C_2} \sim \sqrt{\frac{77}{293}} \qquad \boxed{\frac{C_{1\,77K}}{C_{2\,293K}} \sim 0{,}5}$$

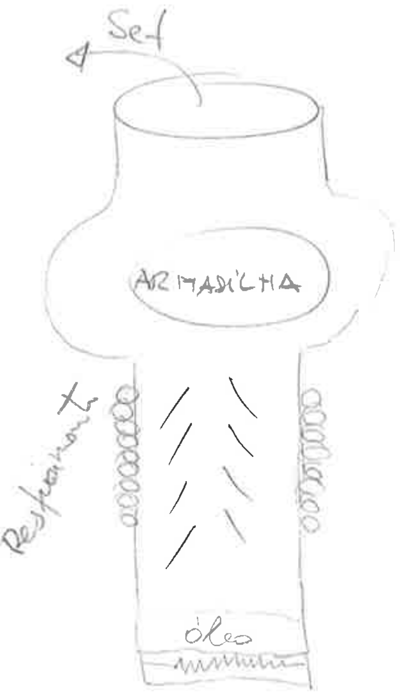
Exercício: Bomba Difusora

Ⓐ Qual a velocidade de bombeamento de uma bomba difusora de 4"?

$$S_{BD} \sim 50\%\, C_{orifício} = 50\%\, 9D^2 \simeq 4{,}5\,D^2$$

$4" \sim 10\,cm$ $\qquad \boxed{S = 450\,\ell/s}$

Ⓑ Qual a velocidade de bombeamento efetiva (S_{ef}) ao se colocar um trap com condutância da mesma ordem de grandeza de S_{BD}?



$$C_{trap} \simeq 450\,\ell/s$$

$$S_{ef} = \frac{S_b\, C}{S_b + C}$$

Essa equação só é válida quando o throughput é constante.

calculando

$$S_{ef} = \frac{450 \times 450}{450 + 450} = 225 \ l/s$$

A velocidade de bombeamento cai pela metade

$C_{trap} \sim 450 \ l/s$ $\Rightarrow$ $C_{trap} \simeq 0{,}5 \times 450 = 230 \ l/s$
300 k — 77 K

Neste caso, temos.

$$S_{ef} = \frac{480 \times 230}{450 + 230} = 150 \ l/s$$

Redução de 1/3 do valor inicial.

$$\begin{cases} S_{inicial} = 450 \ l/s \\ S_{ef} (300k) = 225 \ l/s \\ S_{ef} (77k) = 150 \ l/s \end{cases}$$

Ao colocar N_2 líquido no "trap" a velocidade do bombeamento cai de 225 l/s para 150 l/s, mas a pressão <u>NÃO</u> aumenta, na verdade a pressão diminui!!

A armadilha de N_2 líquido aprisiona o vapor de água e moléculas do ar e evita o "back streaming."

A armadilha de N_2 líquido funciona como uma outra bomba de vácuo

Bomba criogênica

Exercício 18 - lista 2

S. Dushman propôs que a condutância de um duto pode ser descrita como a associação em série de um orifício com a condutância de um duto. Obtenha a expressão para a condutância neste caso.
Considere N_2 e $T = 300K$ no regime molecular.

Primeiro a molécula deve encontrar o tubo e depois atravessá-lo

$$P_{trans} \sim A \qquad P_{trans} \sim \frac{1}{BL}$$

$$Z_{total} = Z_{orifício} + Z_{duto}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_o} + \frac{1}{C_{tubo}} \qquad \begin{cases} C_o = 9D^2 \\ C_{tubo} = \dfrac{12D^3}{L} \end{cases}$$

então:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{9D^2} + \frac{L}{12D^3} = \frac{\frac{12D^3}{L} + 9D^2}{9D^2 \, \frac{12D^3}{L}}$$

$$C_T = \frac{12D^3}{L}\left[\frac{9D^2}{9D^2 + \frac{12D^3}{L}}\right]$$ dividindo e multiplicando por $3D^2$

$$C_T = \frac{12D^3}{L}\left[\frac{3}{3 + \frac{4D}{L}}\right] = \frac{12D^3}{L}\left[\frac{3 + \frac{4D}{L}}{3}\right]^{-1}$$

$$\boxed{C_T = C_{tubo}\left[1 + \frac{4D}{3L}\right]^{-1}}$$

No caso de $L >> D$

$$\boxed{C_{total} \sim C_{tubo}}$$

No caso de $L << D$

$$C_{total} \sim C_{tubo}\,\frac{3L}{4D} = \frac{12D^3}{L}\,\frac{3L}{4D} = 9D^2 \equiv C_{orifício}$$

C_o é a condutância do orifício

Reescrevendo em relação à condutância do orifício

αC_o onde α é uma proporção.

$$\alpha C_o = C_{total} = \frac{12D^3}{L}\left(1+\frac{4}{3}\frac{D}{L}\right)^{-1}$$

$$\boxed{\alpha = \frac{12D^3}{L}\left(1+\frac{4}{3}\frac{D}{L}\right)^{-1}\frac{1}{9D^2}} \to C_o$$

$$\alpha = \frac{12D^3}{L}\left(\frac{1}{1+\frac{4}{3}L}\right)\frac{1}{9D^2}$$

$$\alpha = \frac{4}{3}\frac{D}{L}\left[\frac{1}{1+\frac{4}{3}L}\right] = \frac{1}{\frac{3L}{4D}+1}$$

para $L >> 1$ $\quad \alpha = \frac{4D}{3L}$

para $L << 1$ $\quad \alpha = 1$