AULA 12

Ciência e Tecnologia do Vácuo

- 2022 -

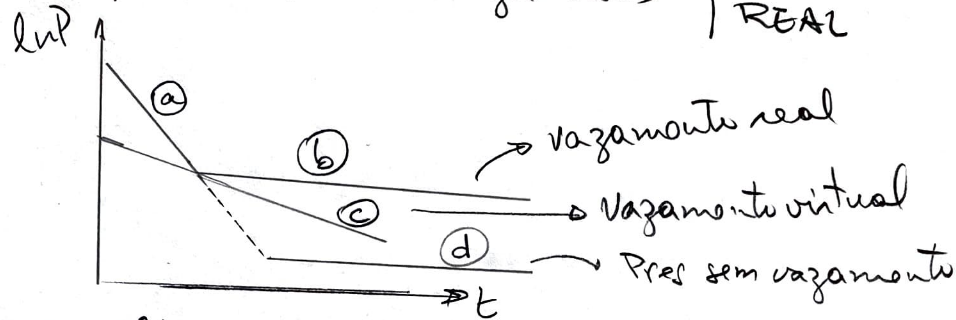
13/05/22

Lista de presença

Avisos: Prova próxima aula - Traga lápis, borracha, calculadora, régua e muita disposição.

Resumo das aulas anteriores

Sistemas para o estudo de vazamentos $\begin{cases} \text{VIRTUAL} \\ \text{REAL} \end{cases}$



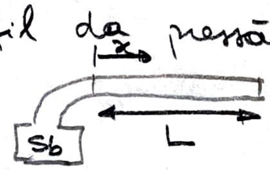
(a) $P = P_0 e^{-\frac{S}{V}t}$ $(\tau = V/S)$

(b) $P_R = \dfrac{C_R P_{atm}}{S_b}$ $\equiv$ Vazamento real

(c) $P_{res} = \dfrac{C_{VR} P_0'}{S} e^{-\frac{C_{VR}}{V_C}t}$ $\equiv$ Vazamento VIRTUAL

(d) $P_{res} = \sum_i Q_i / S$

Perfil da pressão ao longo do tubo

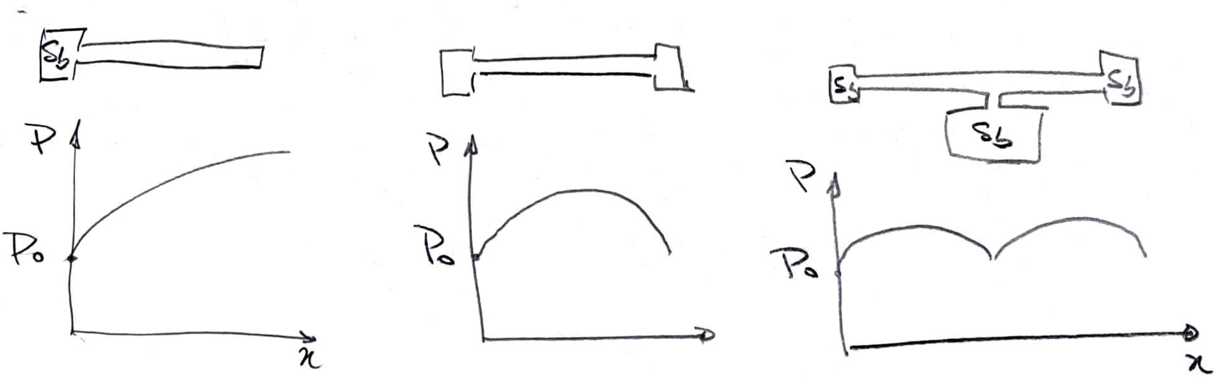


$$P_x = P_0 + qB\left[\frac{x}{C} - \frac{x^2}{2LC}\right]$$

$$P_L - P_0 = \frac{qBL}{2C} \qquad P_0 = \frac{qBL}{S_b}$$

Condições de contorno

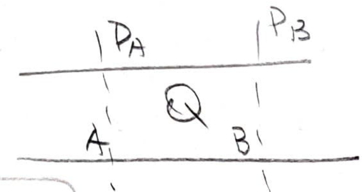
(1) $\left.\dfrac{dP}{dx}\right)_{x=L} = 0$ (2) $x = 0\,;\ P = P_0$



Fluxo de Massa

Q throughput cte

$$\boxed{Z_{AB} = \frac{P_A - P_B}{Q}}$$



$X = R_i$

$\Delta P = ZQ$

INVERSO ≡ CONDUTÂNCIA

$$\boxed{C_{AB} = \frac{Q}{P_A - P_B}} \qquad \boxed{C_{AB} = \frac{1}{Z_{AB}}}$$

Velocidade de bombeamento efetiva

$Q_A = P_A S_A$ $\quad Q_B = P_B S_B$ $\quad$ MAS $\quad Q = Q_A = Q_B = cte$

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

$$\boxed{\lambda = \frac{5\times10^{-3}\,(cm)}{P\,(Torr)}} \qquad \boxed{PV = NkT} \qquad \boxed{n = \frac{P}{kT}}$$

$$\boxed{\nu = \frac{1}{4} n \bar{v} \equiv \frac{n^{o}\ de\ moléculas}{area\ \ tempo}}$$

Distribuição de MB

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$$

- Regime Viscoso $\quad \lambda << D$; $DP \geq 1$
  fluxo turbulento $\quad Re \geq 2100$
  fluxo laminar $\quad Re \leq 110$

$$\boxed{Re = \frac{\rho v D}{\eta}}$$

- Regime intermediário $\quad 10^{-2} < DP < 1$
- Regime molecular $\quad DP \leq 10^{-2}$

Número de Knudsen

$$\boxed{N_K = \frac{\lambda}{D}}$$

Tempo para formação de uma monocamada

$$\boxed{\tau = \frac{2{,}7\times10^{-6}}{P(\text{Torr})}}$$

Condutâncias - Regime molecular

$$\boxed{Q = C\Delta P}$$

ORIFÍCIO

$$C = A\sqrt{\frac{kT}{2\pi m}}$$

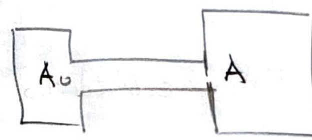
$$\boxed{C_0 = 9D^2} \quad N_2 \quad T = 20°C$$

D (cm)
C (l/s)

$$C \propto \sqrt{\frac{T}{M}}$$

Diafragma

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



Duto circular

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

Equação Geral

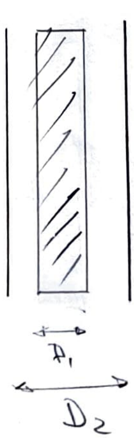
para tubo cilíndrico

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

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

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

DUTO ANULAR



$$\begin{cases} C = 12k\,(D_2 - D_1)^2(D_1 + D_2) \\[2ex] C = \dfrac{12}{L}\,(D_2^3 - D_1^3)\left(1 - \dfrac{D_1}{D_2}\right) \end{cases}$$

Condutância: Regime Viscoso

Orifício

EXPANSÃO ADIABÁTICA

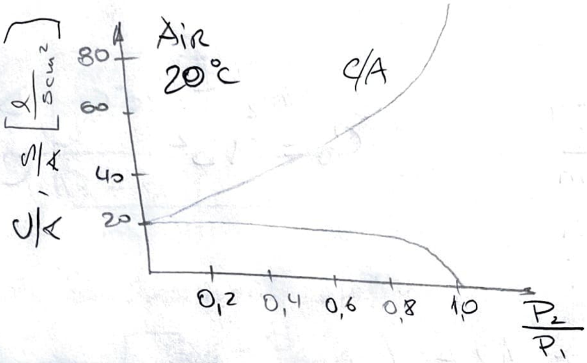
$$\boxed{PV^{\gamma} = cte}$$

$$C = \frac{20A}{1 - \frac{P_2}{P_1}}$$

P/ $P_2 < 0{,}1\,P_1$

$$\boxed{C \simeq 20A}$$

SLIDE



$$\frac{Q}{AP_1} = \frac{S}{A}$$

Tubo cilíndrico

$$\boxed{C_{N_2} = \frac{180\,D^4\,\bar{P}}{L}}$$

$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2}{2}$$

$$\boxed{C = \frac{1}{\eta}\,\frac{\pi\,D^4\,\bar{P}}{128\,L}}$$

Depende do gás!

Regime Intermediário

$$10^{-2} < D\bar{P} < 1$$

$$C_I = C_m \left(0{,}0736\,\frac{D}{\lambda} + 1\right)$$

$$\boxed{\bar{\lambda} = \frac{5 \times 10^{-3}}{\bar{P}\,(\text{Torr})}\ \text{cm}}$$

Bombeamento função $P(t)$

Regime Viscoso

Mostrar gráfico $\boxed{\frac{t}{V} \times S_b}$ $\frac{D^4}{L} = \frac{128\eta E}{\pi}$

para $L \to 0$ cm $E \to \infty$ então:

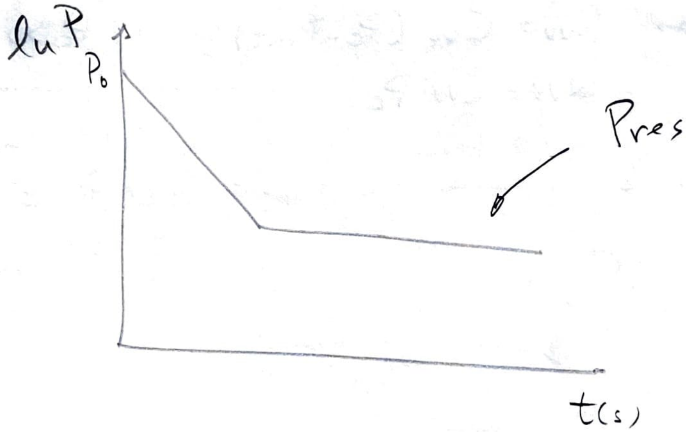
$$\frac{t}{V} = \frac{1}{S_b} \ln\left(\frac{P_i + P_i}{P + P}\right)$$

$$\boxed{P(t) = P_i \, e^{-\frac{S}{V}t}}$$

Regime Molecular

$$\boxed{P(t) = P_0 \, e^{-\frac{S}{V}t} + P_{res}}$$

$$P_{res} = \sum_i Q_i / S$$



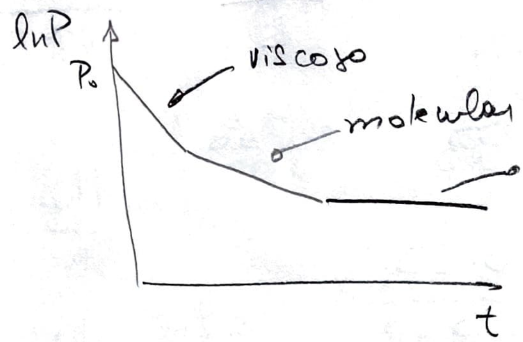
Estudo de Vazamentos

Regime viscoso $\quad S_{ef} \sim S_{bomba}$

Regime molecular $\quad S_{ef} = \dfrac{S_b \cdot C_{molecular}}{S_b + C_{molecular}}$ $\quad$ Depende da condutância

$$\boxed{\tau = V/S}$$

depende de S



$P_{res} = \dfrac{\sum_i Q_i}{S}$

Vazamento Real

$Q = PS \quad ; \quad Q = C\Delta P = C\,P_{ext}$ $\qquad$ como $\quad P_{res} = \dfrac{\sum_i Q_i}{S}$

então $\quad \boxed{P_{res} = \dfrac{C_{Real}\,P_{atm}}{S}}$

Vazamento Virtual

CAVIDADE + ORIFÍCIO PEQUENO $\equiv$ VAZAMENTO VIRTUAL

Equação Geral $\quad \boxed{-V\dfrac{dP}{dt} = PS - \sum_i Q_i}$

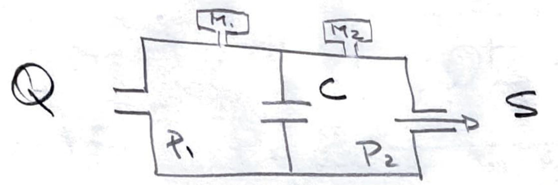
$-V\dfrac{dP_c}{dt} = Q_{vv}$ $\qquad$ Mas $\quad Q_{vv} = C_{vv}(P_c - P_{int})$ $\qquad P_c >> P_{int}$

$Q_{vv} = C_{vv} P_c$

então $\quad -V\dfrac{dP_c}{dt} = C_{vv} P_c \quad \xRightarrow{\text{solução}} \quad \boxed{P_{res} = \dfrac{C_{vv}}{S} P_0' \, e^{-\frac{C_{vv}}{V_c} t}}$

Métodos Alternativos para medidas de C e S

① Velocidade de bombeamento



Em condições estacionárias

$$\begin{cases} Q = C\Delta P = C(P_1 - P_2) & (I) \\ S = \dfrac{Q}{P_1} = \dfrac{Q}{P_2} & (II) \end{cases}$$

Substituindo I em II

$$S = \frac{Q}{P_2} = \frac{C(P_1 - P_2)}{P_2} = C\left(\frac{P_1}{P_2} - 1\right)$$

Se a condutância for conhecida, então determina-se S.

No regime molecular C é constante

Se $S \gg C$ $\quad P_2 \ll P_1$ então

$$\boxed{S = C\,\frac{P_1}{P_2}}$$

(2) Medida da S pela variação do fluxo de massa (Q)

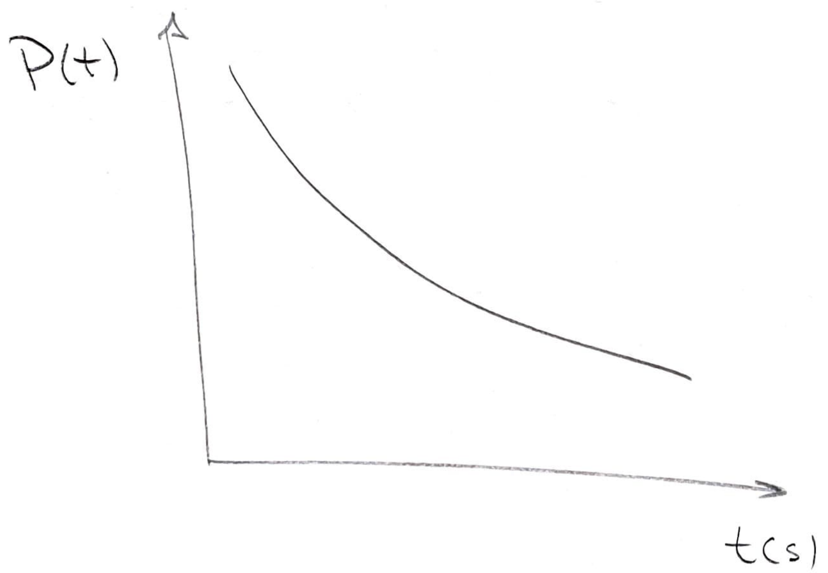
Equação geral $\boxed{-V\frac{dP}{dt} = PS - \sum_i Q_i}$

$P_{res} = \frac{\sum_i Q_i}{S}$ então: $\sum_i Q_i = P_{res} S$

logo $-V\frac{dP}{dt} = PS - P_{res} S$

$-V\frac{dP}{dt} = (P - P_{res}) S$

logo $\boxed{S = \frac{-V}{P - P_{res}} \frac{dP}{dt}}$



(3) Medida de S conhecendo-se $P(t)$

$$\boxed{P = P_o e^{-\frac{S}{V}t} + P_{res}}$$

Para $P_{res} \ll P$

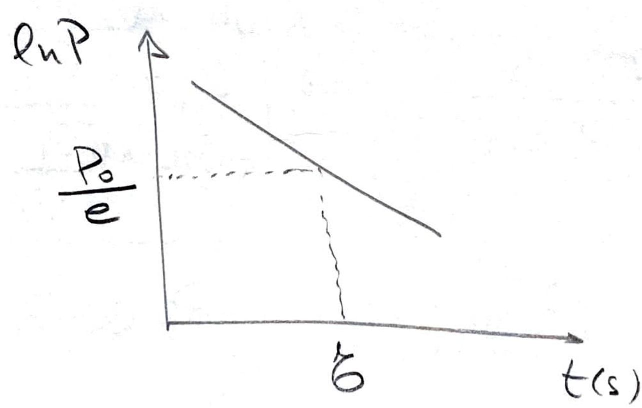
então $P = \frac{P_o}{e} = P_o e^{-\frac{S}{V}t}$

$$e^{-1} = \frac{P_o}{P_o} e^{-\frac{S}{V}t} \Longrightarrow e = e^{\frac{S}{V}t}$$

$$\ln e = \ln e^{\frac{S}{V}t} \Longrightarrow 1 = \frac{S}{V}t$$

$$t = \frac{V}{S} \Longrightarrow \boxed{\tau = V/S}$$ tempo de bombeamento característico do sistema

τ é a constante de bombeamento

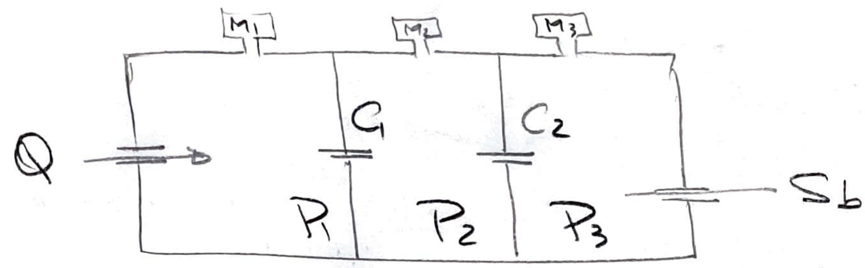


$T_{1/2} = \tau \ln 2$

$P = P_o e^{-t/\tau}$ $\quad P = \frac{P_o}{2}$? $\Longrightarrow \frac{P_o}{2} = P_o e^{-t/\tau}$

$\ln 2 = t/\tau$ $\quad \boxed{t = T_{1/2} = \tau \ln 2}$

④ Medida da condutância



$$Q = C_1(P_1 - P_2)$$
$$Q = C_2(P_2 - P_3)$$

Para C_2 conhecida

$$Q = C_1(P_1 - P_2) = C_2(P_2 - P_3)$$

$$C_2 = \frac{C_1(P_1 - P_2)}{P_2 - P_3} \quad \text{ou} \quad C_1 = \frac{C_2(P_2 - P_3)}{P_1 - P_2}$$

Se $S \gg C \longrightarrow P_3 \ll P_2$

$$\therefore \quad C_1 = \frac{C_2 P_2}{P_1 - P_2} \Longrightarrow \boxed{C_1 = \frac{C_2}{\frac{P_1}{P_2} - 1}}$$

Para $C_2 \gg C_1 \longrightarrow P_2 \ll P_1$

Neste caso

$$\boxed{C_1 = \frac{P_2}{P_1} C_2}$$

Exercício 2 - lista 3

A partir de qual livre caminho médio pode ser considerado regime molecular?

Considere (a) câmara esférica $D = 30$ cm
(b) duto de 2'' (5 cm)

Definição do regime depende do número de Knudsen

$$N_k = \frac{\lambda}{D} \qquad \lambda = \frac{5 \times 10^{-3}}{P\,(Torr)}\ (cm)$$

Regime molecular $DP \leq 10^{-2}$ em Torr cm

substituindo $D\,\frac{5 \times 10^{-3}}{\lambda} \leq 10^{-2}$

$$\frac{D}{\lambda} \leq \frac{10^{-2}}{5 \times 10^{-3}} \Longrightarrow \boxed{\lambda = 5 \times 10^{-1} D}$$

D é a dimensão do sistema

(a) Para $D = 30$ cm
$\lambda \geq 5 \times 10^{-1} \times 30 \quad \therefore \quad \boxed{\lambda \geq 15\,cm}$

(b) Para duto de $D = 5$ cm

$\lambda = 5 \times 10^{-1} \times 5$

$\boxed{\lambda \geq 2{,}5\,cm}$

Exercício 3.- lista 3

A partir de qual pressão pode ser considerado regime molecular

$DP \leq 10^{-2}$ Torr cm $\Longrightarrow$ $\boxed{P \leq \dfrac{10^{-2}}{D} \text{ Torr cm}}$

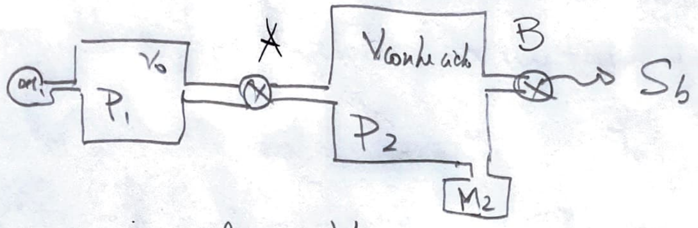
(a) $D = 30$ cm

$P \leq 3 \times 10^{-4}$ Torr

(b) $D = 5$ cm

$P \leq 2 \times 10^{-3}$ Torr

Exercício 23 - lista 2



Determinar o volume V_0

Temperaturas iguais

$$PV = NkT$$

$$P_1 V_0 + P_2 V = P_{final}(V_0 + V)$$

① Bombeamento em $V_{conhecido}$

② Válvula B fechada

③ Valvula A aberta

O nº de moléculas é mantido

$$(P_1 - P_{final}) V_0 = (P_{final} - P_2) V$$

então

$$\boxed{V_0 = \frac{(P_{final} - P_2) V}{P_1 - P_{final}}}$$