AULA 13 Ciência e Tecnologia do Vácuo (1)

- 2024 - 11/10/24

· Passar lista de presença

Detector de Vazamentos

Apresentação de slides Prof Tadeu (Fatec)

Sensibilidade do detector de vazamentos

$$\boxed{10^{-10}\ \frac{\text{Torr}\,\ell}{s}}$$

gás teste He (pequenas dimensões e tem muito pouco na natureza)

O gás é ionizado por elétrons produzidos por efeito termoiônico.

$$qV = \frac{1}{2} m v^2 \quad (1) \quad \text{Campo elétrico}$$

$$q v B = \frac{m v^2}{R} \quad (2) \quad \text{desvio devido ao campo magnético}$$

de (2) $R = \dfrac{m v^2}{q v B}$ mas $\dfrac{m v^2}{2} = qV \therefore v = \sqrt{\dfrac{2qV}{m}}$

então $R = \dfrac{m v}{q B} \rightarrow R = \dfrac{m}{qB}\sqrt{\dfrac{2qV}{m}}$

$$\therefore \boxed{R = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2Vm}{q}}}$$

- v é a velocidade da partícula
- R é a curvatura da trajetória
- m é a massa de He
- V é o potencial acelerador
- q é a carga do íon

Através do potencial acelerador V, obtém-se uma curvatura específica para os íons de He
Utilizam-se fendas colimadoras para selecionar os íons de He

<u>Exercício</u> Qual o menor vazamento que é possível detectar com o "leak detector".

$$Q = 10^{-10} \frac{\text{Torr}\,\ell}{s}$$

$$Q_{He} = C\Delta P = C\,(P_{ext} - P_{int})$$

$$C \propto \sqrt{\frac{T}{M}} \qquad \frac{C_{He}}{C_{N_2}} \sim \sqrt{\frac{28}{4}} \sim 2{,}6$$

$$\text{Se } C_0 = 9D^2 \rightarrow \boxed{C_{He}' = 24\,D^2}$$

Considerando $P_{ext} = 1000$ Torr (borrifador)

então $10^{-10} = C\,P_{He\,ext}$ $\quad C = \dfrac{10^{-10}}{1000} \Rightarrow C = 10^{-13}\,\ell/s$

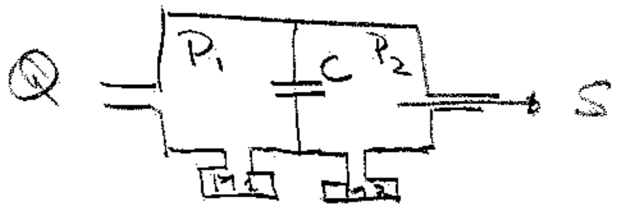
mas $C = 24D^2$, então

$$D = \sqrt{\frac{10^{-13}}{24}} \Rightarrow \boxed{D = 6{,}5 \times 10^{-8}\ \text{cm}}$$

ou seja $\boxed{D \sim 7\ \text{Å}}$

Métodos Alternativos para Medidas de C e S. (2)

(1) Velocidade de bombeamento (S)



Em condição estacionária

$$\begin{cases} Q = C\Delta P = C(P_1 - P_2) & (1) \\ S = \dfrac{Q}{P_1} = \dfrac{Q}{P_2} & (2) \end{cases}$$

Substituindo 1 em 2

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

Se a condutância for conhecida, então determina-se $\underline{\underline{S}}$

No regime molecular C é constante

Se $S >> C$ $\quad P_2 << P_1$ então

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

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

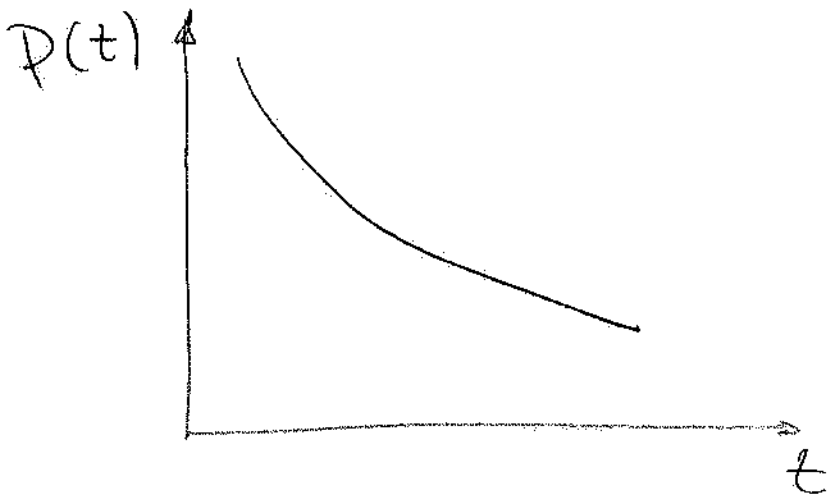
Equação geral $\boxed{-V\frac{dP}{dt} = PS - \sum_i Q_i}$

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

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

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

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



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

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

Para $P_{res} \ll P$

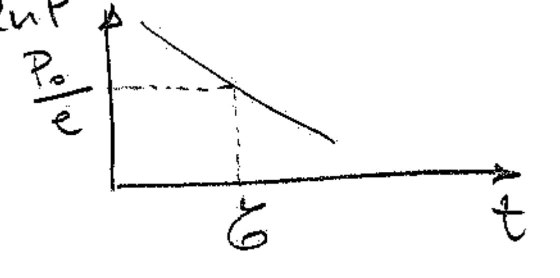
então $P' = \frac{P_0}{e} = P_0\, e^{-\frac{S}{V}t}$

$$e^{-1} = \frac{P_0}{P_0}\, e^{-\frac{S}{V}t} \Longrightarrow e = e^{\frac{S}{V}t}$$

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

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

τ é a constante de bombeamento



$$\boxed{e = 2{,}71828}$$

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

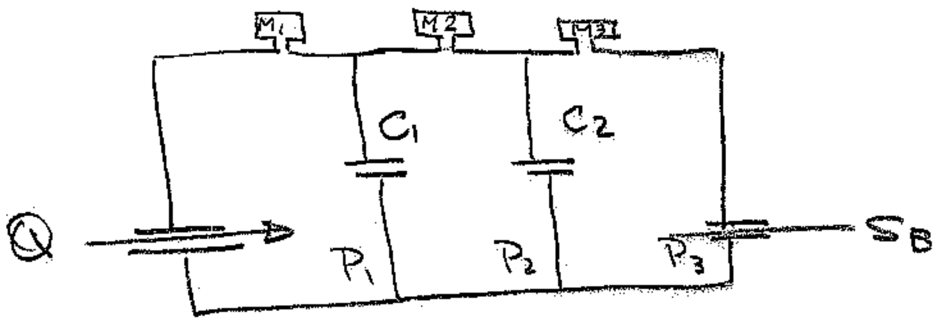
$P = P_0\, e^{-t/\tau}$ $\quad P = \frac{P_0}{2}$? $\Longrightarrow \frac{P_0}{2} = P_0\, e^{-t'/\tau}$

$\ln 2^{-1} = \ln e^{-t'/\tau}$ $\quad \ln 2 = t'/\tau$

$$\boxed{t' = T_{1/2} = \tau \ln 2}$$

$$\boxed{\ln 2 = 0{,}69}$$

④ Medida da Condutância



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

Para C_2 conhecida

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

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

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

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

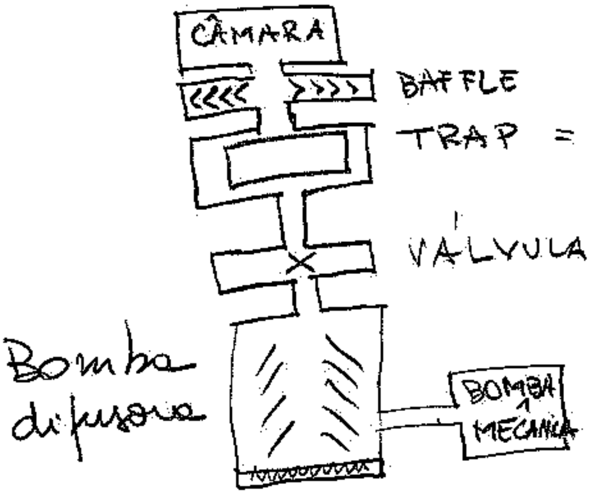
Para $C_2 \gg C_1 \longrightarrow P_2 \ll P_1$

Neste caso

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

Exercício 20 - lista 3

Bomba difusora $D = 3'' \sim 7,5$ cm



BAFFLE

TRAP = Abertura anular $\begin{cases} L = 30\text{ cm} \\ D_1 = 16\text{ cm} \\ D_2 = 20\text{ cm} \end{cases}$

VÁLVULA GAVETA = DUTO $\begin{cases} D = 8\text{ cm} \\ L = 5\text{ cm} \end{cases}$

(a) Calcule: Sef da BD na boca do sistema sem N_2

$S_{BD} \sim 50\% C_0 = 50\% \, 9D^2$ Condutância de um orifício

$S_{BD} = 4,5 (7,5)^2 = 253 \, l/s$

3 impedâncias em série Valvula + TRAP + BAFFLE

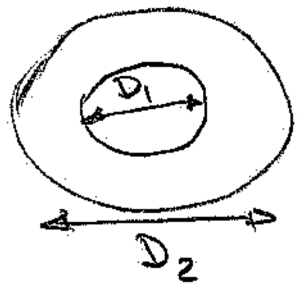
$$C_{VÁLVULA} = \frac{12 D^3}{L} \quad \Big\} \begin{matrix} L = 5\text{cm} \\ D = 8\text{cm} \end{matrix}$$

$$C_{VÁLVULA} = \frac{12 (8)^3}{5} \sim 1228 \, l/s$$

$C_{baffle} = 500 \, l/s$

$C_{armadilha} = ?$

$S_{ef} = ?$



$$\begin{cases} D_1 = 16\ cm \\ D_2 = 20\ cm \\ L = 30\ cm \end{cases}$$

$$C = 9\,(D_2^2 - D_1^2)$$

$$C = 9\,(20^2 - 16^2) = 1296\ l/s \quad \text{abertura anular}$$

$$C_{\text{duto anular}} = \frac{12}{L}\,(D_2^3 - D_1^3)\left(1 - \frac{D_1}{D_2}\right)$$

$$C_{\text{duto anular}} = \frac{12}{30}\,(20^3 - 16^3)\left(1 - \frac{16}{20}\right) = 312\ l/s$$

Cálculo da condutância

$$\frac{1}{C_{total}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i} \Rightarrow \text{Valvula + baffle + abertura anular + duto anular.}$$

$$\frac{1}{C_{total}} = \frac{1}{1228} + \frac{1}{500} + \frac{1}{1296} + \frac{1}{312}$$

$$\boxed{C = 147\ l/s}$$

OBS: SEM N_2 líquido

$$S_{efetivo} = \frac{S_b \times C}{S_b + C} = \frac{253 \times 147}{253 + 147} = 93\ l/s$$

6) Calcule S_{ef} na boca do sistema com a inclusão de N_2 líquido na armadilha.

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

$$\frac{C_{293}}{C_{77}} = \frac{\sqrt{293}}{\sqrt{77}} \simeq 1{,}95 \quad \text{ou seja} \quad \frac{\sqrt{77}}{\sqrt{293}} \sim 0{,}51$$

A condutância cai pela metade.

abertura anular 1296 l/s ⟶ 661 l/s
tubo anular 312 l/s ⟶ 159 l/s

então:

$$\frac{1}{C_{TOTAL}} = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{C_i} = \frac{1}{1220} + \frac{1}{500} + \frac{1}{661} + \frac{1}{159}$$

$$\boxed{C_{TOTAL} = 94 \text{ l/s}}$$

$$S_{ef} = \frac{S_b C_T}{C_T + S_b} = \frac{253 \times 94}{94 + 253} = 68 \text{ l/s}$$

Neste cálculo foi admitido a conservação do throughput

Resultado: A eficiência da bomba difusora diminui!!

(c) Aplicada a uma câmara de $D = 30\,cm$ com pressão de operação $P = 10^{-6}$ Torr, qual pode ser a máxima taxa de desgaseificação (q) dessa câmara para se manter essa pressão?

$$Q = PS = 10^{-6}(\text{Torr}) \times 68\,(\ell/s)$$

$$\therefore \quad Q = 6{,}8 \times 10^{-5} \ \frac{\text{Torr}\ \ell}{s}$$

$$D = 30\,cm \qquad A = \pi R^2 = 2826\ cm^2$$

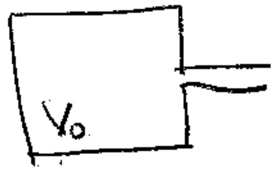
$$q = \frac{Q}{A} \qquad q = \frac{6{,}8 \times 10^{-5}}{2826}\ \frac{\text{Torr}\ \ell}{s\ cm^2}$$

$$\therefore \quad \boxed{q = 2{,}5 \times 10^{-8}\ \frac{\text{Torr}\ \ell}{s\ cm^2}}$$

Exercício 25 lista 2 (modificado) ⑥

Qual a massa de gás retirada de um sistema de vácuo?

Considere uma câmara com volume 1 l e uma pressão de 700 Torr.



$$Q = PS = -V\frac{dP}{dt} = kT\frac{dN}{dt}$$

Regime viscoso 700 Torr até 1 Torr

$\Delta t \sim 5$ segundos na bancada 2 (estimado)

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{700-1}{5} = 140\ \frac{Torr}{s}$$

$$Q = V\frac{dP}{dt} = 1\ (140) = 140\ \frac{Torr\ l}{s}$$ Se $k = 10^{-22}\ \frac{Torr\, l}{K}$

$T = 300K$, então:

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = V\frac{dP}{dt}\frac{1}{kT} \quad ; \quad n = \frac{N}{V} = \frac{P}{kT}$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = 1\ (140)\ \frac{1}{10^{-22}\ 300} \sim 5 \times 10^{21}\ \text{moléculas/s}$$

MASSA DA MOLÉCULA $N_2 = 53{,}1 \times 10^{-24}\ g$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} \times m = 5\times10^{21} \times 53{,}1\times10^{-24} = 0{,}3\ g/s$$

em $\Delta t = 5$ seg $\boxed{m_{total} \simeq 1{,}5\ g}$

Neste intervalo de tempo, qual a velocidade de bombeamento?

$$Q = PS \qquad \bar{P} = 350 \text{ Torr}$$

$$S = \frac{140}{350} \frac{\frac{\text{Torr}\,\ell}{s}}{\text{Torr}} = 0{,}4\ \ell/s$$

Outras unidades.

$$S = 25\ \ell/min \quad \text{ou} \quad S = 1{,}5\ \frac{m^3}{h}$$

Exercício 2 - lista 3

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

Considere (a) Câmara esférica $D = 30\,cm$
(b) tubo de 2" (5 cm)

Definição do regime depende do número de Knudsen

$$N_K = \frac{\lambda}{D} \qquad \lambda = \frac{5\times10^{-3}}{P\,(\text{Torr})}\ [cm]$$

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

substituindo $D\,\frac{5\times10^{-3}}{\lambda} \leq 10^{-2}$

$$\frac{D}{\lambda} \leq \frac{10^{-2}}{5\times10^{-3}} \longrightarrow \boxed{\lambda = 5\times10^{-1}(D)}$$

D é a dimensão do sistema

(a) Para $D = 30\,cm$

$$\lambda = 5\times10^{-1}\times30 \quad \therefore \quad \boxed{\lambda \geqslant 15\,cm}$$

(b) Para tubo de $\phi = 5\,cm$

$$\lambda = 5\times10^{-1}\times5$$

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

Exercício 3, lista 3

A partir de qual pressão pode ser considerado regime molecular?

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

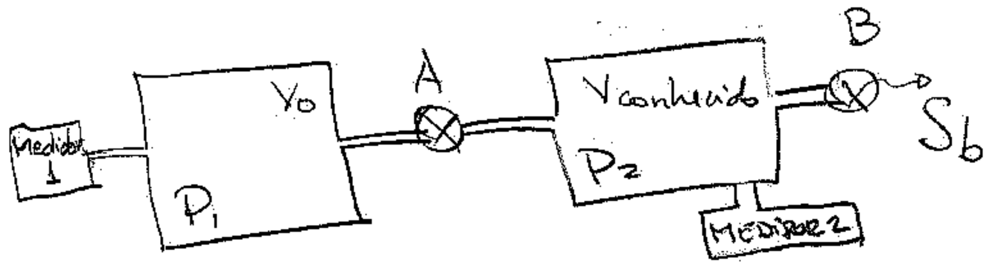
(a) $D = 30\,cm$

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

(b) $D = 5\,cm$

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

Exercício 23 - lista 2



Determinar volume V_0

Temperaturas iguais

$$PV = NkT$$

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

ETAPAS

1. Bombeamento em V conhecido
2. Válvula B fechada
3. Válvula A aberta

O número de moléculas é mantido

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

então

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

Lista 3 - Exercício 13 (9)

Avalie o erro cometido se houver vazamento de 10^{-4} cm além do throughput injetado no método da pipeta.

O método permite saber quanto se está injetando no sistema.

Dados: $\begin{cases} D = 1\mu m = 10^{-3} mm = 10^{-4} cm \\ P_s = 3\times10^{-4}\ Torr \\ S = 45\ \ell/s \end{cases}$

Sem vazamento $\boxed{Q = PS = P_0 \frac{\Delta V}{\Delta t}}$ (1) Única fonte de gás.

Com vazamento

$$\boxed{PS = P_0 \frac{\Delta V}{\Delta t} + Q_{VAZAMENTO}}$$

$$PS_V = P_0 \frac{\Delta V}{\Delta t} + C(P_{atm} - \cancel{P_s})$$ pequeno

$$\boxed{PS_V = P_0 \frac{\Delta V}{\Delta t} + C P_{atm}} \quad (2)$$

Subtraindo (2) por (1)

$$PS_V - PS = \cancel{P_0 \frac{\Delta V}{\Delta t}} + C P_{atm} - \cancel{P_0 \frac{\Delta V}{\Delta t}}$$

$$P(S_V - S) = C P_{atm} \Rightarrow \boxed{100 \times \frac{S_V - S}{S} = \frac{C P_{atm}}{PS} \times 100}$$

Para um vazamento de 10^{-4} cm

$C = 9D^2$ (regime molecular)

Para o regime viscoso $P_2 < 0{,}1\,P_1$

$$C = 20A = 20\,\frac{\pi D^2}{4} \sim 15 D^2$$

(a) Então:

$$100\left(\frac{S_v - S}{S}\right) = \left(\frac{9\,(10^{-4})^2\,700}{3\times10^{-4}\,(45)}\right)\times 100 \sim 0{,}5\,\%$$

(b) Para uma pressão menor 10^{-5} Torr, vem:

$$100\left(\frac{S_v - S}{S}\right) = \left(\frac{9\,(10^{-4})^2\,700}{10^{-5}\;45}\right)\times 100 \cong 0{,}14$$

$\therefore$ Diferença de 14%