

LULA 2

Distribuição espacial - esvaziamento de gases e formação de vácuo nos gases.
Passar lista de presença.

Vácuo \equiv Espaço preenchido com gás em pressão abaixo da pressão atmosférica.

$$P < 2,5 \times 10^{19} \text{ moléculas/cm}^3$$

Manter placa de PVC

falar sobre o condicional

Definição: Pressão = $\frac{F}{A} \left[\frac{N}{m^2} \right]$ MKS ; $\left[\frac{\text{dina}}{\text{cm}^2} \right]$ CGS

Pascal

$$1 \text{ bar} = 10^6 \frac{\text{dina}}{\text{cm}^2}$$

Diferentes valores de pressão correspondem a diferentes situações físicas.

Conceitos úteis

densidade de moléculas
caminho livre médio
tempo de formação de uma mono camada

Todos esses conceitos são relacionados com a pressão, ao tipo de gás e a temperatura.

Tempo para formar uma mono camada

Esse tempo é dado pela razão entre o número de moléculas necessárias para formar uma camada compacta ($\sim 8 \times 10^{14}$ moléculas/cm²) e a taxa de moléculas incidentes numa superfície.

Transparência 1 } Pressão x tempo de formação de uma monocamada
 Pressão x densidade = Pressão x hora comumente
 pré-vácuo → ultra alto vácuo.

Transparência 2 } pré-vácuo - mantém a mesma
 composição do ar } composição
 alto vácuo 70 a 90% de vapor d'água
 ultra alto vácuo H₂ (permeação)

Aplicações do dia-a-dia

Tomar coca-cola no canudinho (300 Torr)
 Respiração (740 Torr)
 Polvo (100 Torr)

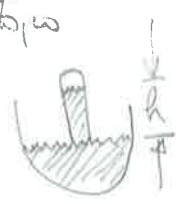
Pressão x Altitude

| | | |
|--------------|---|------------------------|
| nível do mar | - | 760 mmHg |
| São Paulo | | 700 mmHg (800m) |
| 10 km | | 100 mmHg (aviões) |
| 100 km | | 10 ⁻⁴ mmHg |
| 1000 km | | 10 ⁻¹² mmHg |
| 10000 km | | 10 ⁻¹⁴ mmHg |
| 390 000 km | | <u>lua</u> |

Historico da Tecnologia do Vácuo

(2)

Transparência 3

- 1643 - Torricelli Vácuo produzido no topo de uma coluna de Hg 
- 1654 - Otto von Guericke Magdeburg hemispheres demonstram a força atmosférica
- 1879 - Edson (lâmpada elétrica) { vela não queime
animais morriam

Leidos gases

Boyle - Mariotte
Charles
Gay-Lussac
Bernoulli
Avogadro
Maxwell
Boltzmann

- 1874 McLeod Gauge
- 1879 Tubo de raios catódicos (Crookes)
- 1906 Pirani Gauge
- 1915 W Gaede } bomba difusora
1916 I. Langmuir }
- 1940 Pesquisa em física nuclear } a) clostion
separação isotópica
- 1950 10^{-6} a 10^{-7} Torr
- 1950 Bayard-Alpert ultra high vacuum } Tubo de
- 1953 R. Herb bombas iônicas
Fundador da NEC (Pelletron)

Ciência } Espacial
Superfície
Semicondutores
nanotecnologia

Definições Básicas

(3)

Unidades de Pressão

$$\text{mmHg} = \text{Torr}$$

$$1 \text{ Ba (barre)} = 1 \text{ dina/cm}^2 \quad \text{CGS}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 \quad \text{MK S}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

$$1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mbar} = 0,75 \text{ Torr} \quad \leftarrow$$

$$1 \text{ Torr} = 1,33 \text{ mbar}$$

$$1 \text{ Torr} = 133,32 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} = 10^{-2} \text{ mbar} = 10^{-5} \text{ bar}$$

$$1 \text{ atm} = 10^5 \text{ bar}$$

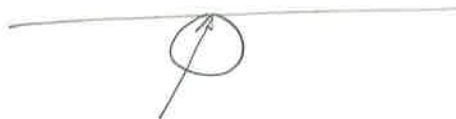
Regimes de Pressão

| | | |
|---|----------------------------|---|
| } | Viscoso | massa de gás e <u>pequeno λ</u> |
| | | → fluxo turbulento |
| | | → fluxo laminar |
| } | Transição ou Intermediário | |
| | Molecular | colisões molécula-paredes <u>grande λ</u> |

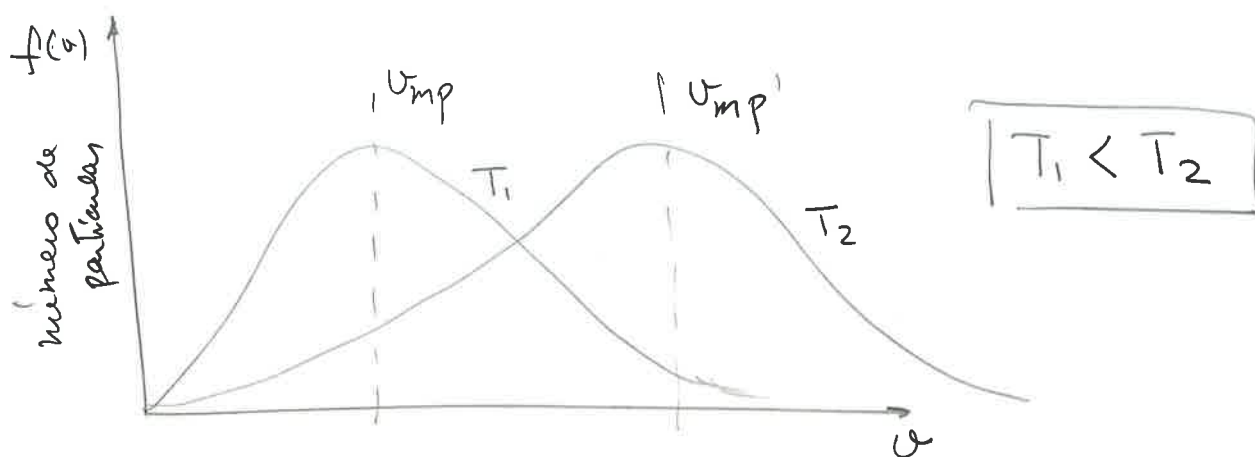
Colisões: Depende da temperatura (Movimento Browniano)

Importante:

Após a colisão, o ângulo de saída não depende do ângulo de incidência



Distribuição de moléculas é regida pela distribuição de Maxwell-Boltzmann

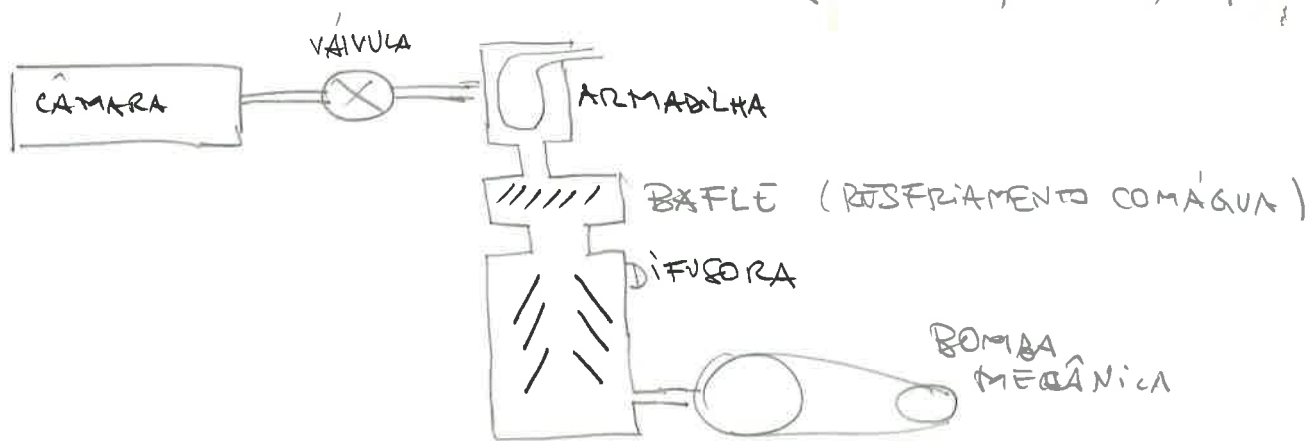


Teoria cinética dos gases.

Composição básica de um sistema de vácuo

CÂMARA - VÁLVULAS - TUBOS - ARMADILHAS - BAFLE

BOMBA (DIFUSORA/TURBO) - BOMBA DE PRÉ-VÁCUO (membrana, mecânica, sorção)

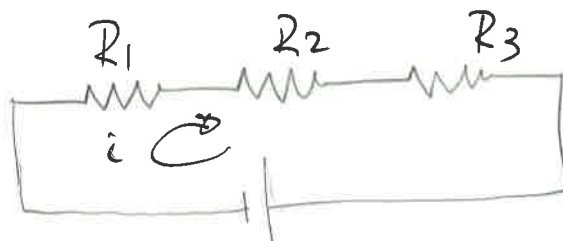


Probabilidade de Transmissão

- Regime
- Geometria do sistema

Analogia a um sistema elétrico

$\Delta V \approx \Delta P$
 $R \approx \text{Impedância}$
 $i \approx Q$
 fluxo de massa



$R_1 + R_2 + R_3 = R$ resistência total

Definições Básicas

Condutância → inverso da impedância.

Condutância ≡ velocidade de bombeamento

Depende { Regime de pressão
geometria do sistema

Taxa de escape

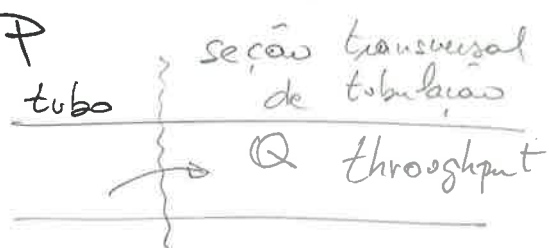
fluxo de massa

Quantidade de moléculas num fluxo

THROUGHPUT

$$Q = \frac{PV}{t} = PS$$

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{Q}{P}$$



$$Q = PS$$

S é a velocidade de bombeamento

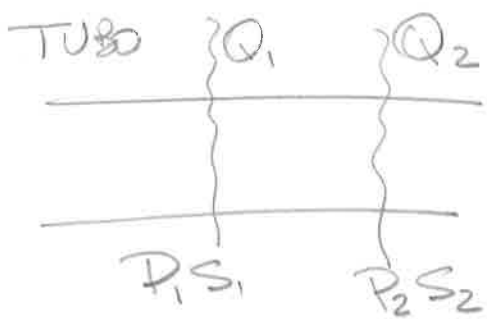
Lei dos gases $PV = NkT$ *k é a constante Boltzmann*



$$P \frac{\Delta V}{\Delta t} = kT \frac{\Delta N}{\Delta t}$$
 corrente molecular

$$\left[P \frac{\Delta V}{\Delta t} \right] = \text{Torr} \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Unidade $[Q] = \text{Tor} \frac{\text{l}}{\text{s}}$



Lei de conservação

$$Q_1 = Q_2$$

Condição: Se não houver uma região que aprisione moléculas e se não houver fluxo adicional (vazamento) de moléculas para o sistema.

throughput \equiv fluxo de massa

$$\left. \begin{array}{l} Q \text{ de vazamento} \\ Q \text{ de difusão} \\ Q \text{ de permeação} \end{array} \right\} \Rightarrow Q_T = \sum_{i=1}^N Q_i$$

① throughput (Q) também é definido como sendo a quantidade de gás, numa dada temperatura, atravessando uma área por unidade de tempo.

unidade $\left[\frac{\text{Torr l}}{\text{s}} \right]$ ou $\left[\frac{\text{atm cm}^3}{\text{s}} \right]$

$$\begin{aligned} 1 \frac{\text{std cc}}{\text{min}} &= 1,27 \times 10^{-2} \frac{\text{Torr l}}{\text{s}} \\ &= 1,67 \times 10^{-2} \frac{\text{atm cc}}{\text{s}} \end{aligned}$$

$$1 \frac{\text{Torr l}}{\text{s}} = 1,3 \frac{\text{atm cc}}{\text{s}}$$

Equação Geral de um sistema de vácuo

(5)

$$V_0 \frac{\Delta P}{\Delta t} \Rightarrow -V_0 \frac{\Delta P}{\Delta t} = Q - \sum_{i=1}^n Q_i$$

$$-V_0 \frac{\Delta P}{\Delta t} = PS - \sum_{i=1}^n Q_i$$

Lei dos gases

$$PV = NkT, \text{ então}$$

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

$$PS = \frac{\Delta N}{\Delta t} kT \Rightarrow Q = PS = \frac{\Delta N}{\Delta t} kT$$

$$S = \frac{kT}{P} \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

ΔN é o número de moléculas que escoam por unidade de tempo.

$$m \frac{\Delta N}{\Delta t} = m \frac{Q}{kT}$$

Onde m é a massa de uma molécula

Corrente molecular \equiv massa que escoa por unidade de tempo através de uma seção reta da tubulação.

Para uma mistura de gases

$$Q = kT \sum_{i=1}^n \frac{\Delta N_i}{\Delta t}$$

$$PV = NkT$$

$$k = \frac{R_0}{N_A}$$

$$PV = \frac{N}{N_A} R_0 T$$

multiplicando por m

$$PV = \frac{Nm}{m N_A} R_0 T$$

$$N_A m \equiv \text{massa molecular do gás} \\ \equiv M$$

$$W = Nm = \text{massa do gás}$$

$$\frac{P \Delta V}{\Delta t} = \overset{cte}{\left(\frac{R_0 T}{M} \right)} \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

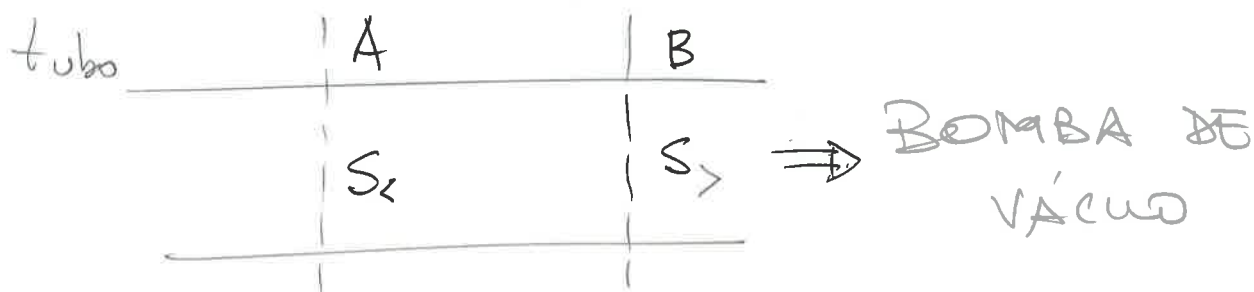
$$\Rightarrow Q = cte \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

$$Q = \text{fluxo de massa}$$

Escoamento de gases

(6)

Resultante da diferença de pressão, logo S não é constante ao longo da tubulação, mas P_s é constante!!



A variação da pressão ao longo da tubulação é o resultado de uma certa impedância oferecida pela própria tubulação ao escoamento.

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

ANALOGIA COM UM CIRCUITO ELÉTRICO
 $V = Ri$

O inverso da impedância é a condutância $C = \frac{1}{Z}$

$$C_{AB} = \frac{Q}{P_A - P_B}$$

Unidade [l/s]

Os cálculos dependem fortemente do regime de pressão e da geometria do sistema.

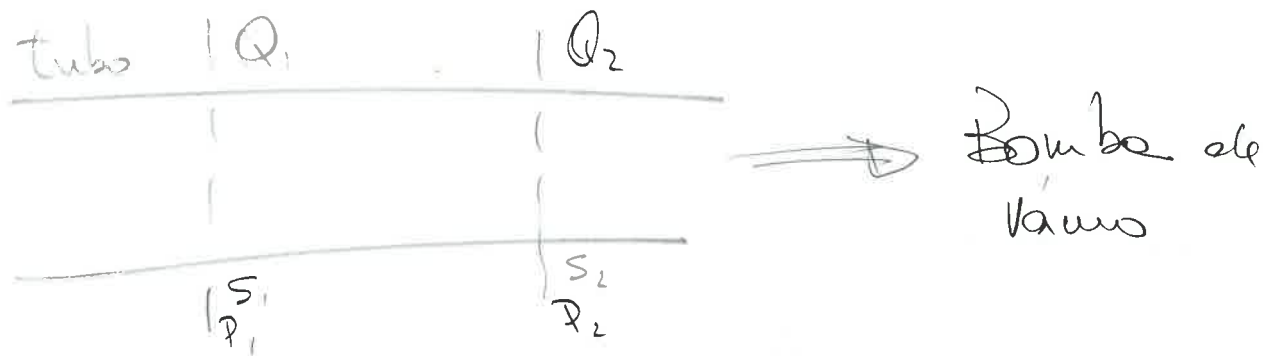
• Velocidade de bombeamento S [l/s]

característica de um ponto

• Condutância C [l/s]

característica de dois pontos

• Relações entre C e S



$$Q_1 = P_1 S_1 \quad Q_2 = P_2 S_2$$

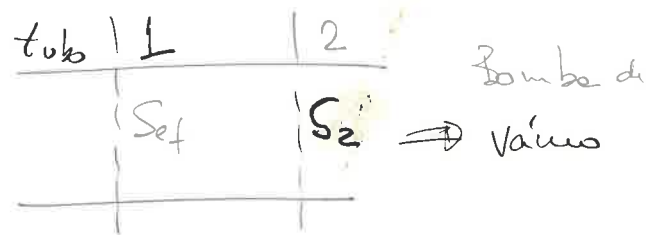
$$\frac{1}{S_1} = \frac{P_1}{Q_1} \quad (1) \quad \frac{1}{S_2} = \frac{P_2}{Q_2} \quad (2)$$

Subtraindo (1) de (2)

$$\frac{1}{S_1} - \frac{1}{S_2} = \frac{P_1}{Q_1} - \frac{P_2}{Q_2} \quad \text{como } Q = \text{cte } \underline{Q_1 = Q_2}$$

$$\frac{1}{S_1} - \frac{1}{S_2} = \frac{P_1 - P_2}{Q} = \frac{1}{C}, \text{ então}$$

$$\boxed{\frac{1}{C} = \frac{1}{S_1} - \frac{1}{S_2}}$$



Supondo estar na boca da bomba (2)

$$S_1 = S_{ef}; \quad S_2 = S_b$$

$$\frac{1}{S_{ef}} = \frac{1}{S_b} + \frac{1}{C}$$

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

Informações

No regime molecular a condutância independe da pressão

No regime viscoso as condutâncias são enormes e dependem da pressão

Definições de throughput (Q)

$$Q = PS ; \quad Q = CAP ; \quad Q = P \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$Q = kT \frac{\Delta W}{\Delta t} ; \quad Q = V \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

Revistas de tecnologia do vácuo

- ① Le vide (France)
- ② Vacuum Pergamon Press
- ③ The Journal of vacuum science and technology (AIP)
- ④ Review of Scientific Instruments (AIP)
- ⑤ Journal of Scientific Instruments (Inglaterra)

EXEMPLOS:

(7)

(a) Se $S_b \gg C$

$$S_{ef} = C$$

ou seja não adianta

comprar uma bomba de vácuo com velocidade de bombeamento muito maior que a condutância do sistema

(b) Se $S_b \ll C$

$$S_{ef} = S_b$$

⇒ Situação ideal

EXEMPLOS PRÁTICOS:

(1) $C = 100 \text{ l/s}$
 $S_b = 100 \text{ l/s}$

$$S_{ef} = \frac{S_b C}{S_b + C} = \frac{100 \cdot 100}{100 + 100} = 50 \text{ l/s}$$

(2) $S_{ef} = 60 \text{ l/s}$ $C = 50 \text{ l/s}$ $S_b = ?$

$$S_b = \frac{S_{ef} \cdot C}{C - S_{ef}} = \frac{60 \cdot 50}{50 - 60} < 0$$

S_b negativo?

A bomba funciona mas não com essa velocidade efetiva.