

AULA 2

Distribuição apostila - { Escoamentos de gases
Teoria e aplicações dos gases

Passar lista de presença

VÁCUO = Espaço preenchido com gás em pressões abaixo da pressão atmosférica

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

Mostrar placa PVC

comentar sobre camudinho

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

$$[\text{Pascal}] = \frac{N}{m^2} ; 1 \text{ bar} = 10^6 \frac{\text{dina}}{\text{cm}^2}$$

Diferentes valores de pressão correspondem a diferentes situações físicas.

Conceitos úteis { densidade molecular
caminho livre médio
tempo de formação de uma mono camada

Todos esses conceitos estão relacionados com a pressão, do tipo de gás e à temperatura.

- Tempo para formar uma mono camada

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

Transparência 1

Pressão x tempo de formação de uma nova camada
Pressão x densidade
Pressão x livre caminho no dia
pró-vácuo - ultra alto vácuo

Transparência 2

Composição
do
ar

pró-vácuo mantém a mesma
composição
alto vácuo 70 a 90% Vapor de água
ultra-alto vácuo H_2 (permeação)

Aplicações do dia-a-dia

Tomar coque-cole pelo condutinho 300 Torr

Respiração 740 Torr

Polvo 100 Torr

Pressão x Altitude

nível do mar

760 mm Hg

São Paulo

700 mm Hg (800m)

10km

100 mm Hg (avião)

100km

10^{-4} mm Hg

1000 km

10^{-12} mm Hg

10000 km

10^{-14} mm Hg

390000 km

lua

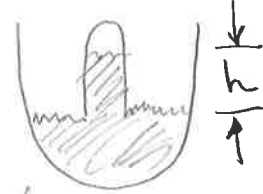
História da Tecnologia do Vácuo

(2)

Transparência 3

1643 - Torricelli

Vácuo produzido no topo de uma coluna de Hg



1654 - Otto von Guericke

Magdeburg hemisphere demonstration a force atmospheric
{ vela não queime
animais morrem

1879 - Edison (lâmpada elétrica)

Lei dos 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 { ciclotron
separador isotópico

1950 10^{-6} a 10^{-7} Torr

1950 Bayard-Alpert ultra-alto vácuo (Triodo)

1953 R. Herb - bombas iônicas (Fundador NEC - Pelletron)

Ciência } Espaço
superfície
semicondutores
nanotecnologia

Definições Básicas

(3)

Unidades de pressão

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Regimes de pressão

Viscoso

masse de gás e pequeno λ

→ fluxo laminar
→ fluxo turbulento

Transição ou intermediário

Molecular

} colisão molécula - parede
grande λ

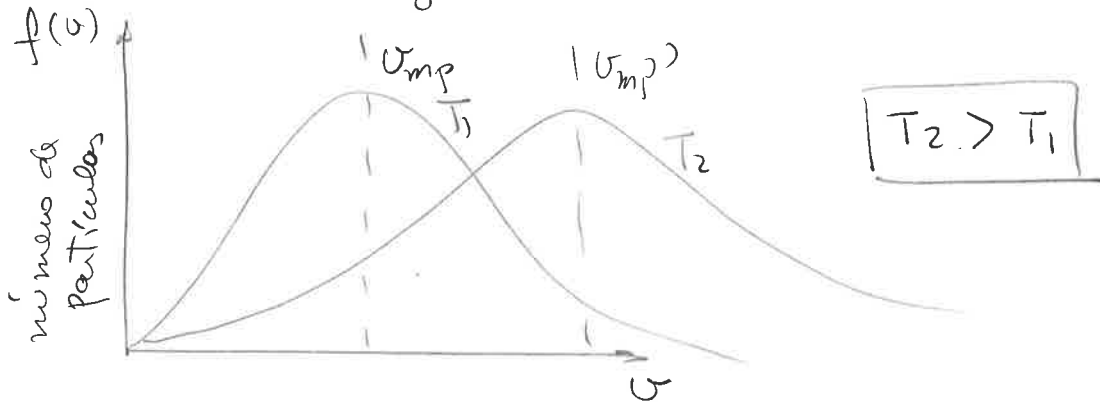
Colisões: Depende da temperatura (Movimento Browniano)

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 E CONEXÕES - ARMADILHAS
 BAFLE - Bomba de vácuo (Turbo/Difusora) - Bomba pré-vácuo (mecânica, sorção membrana)

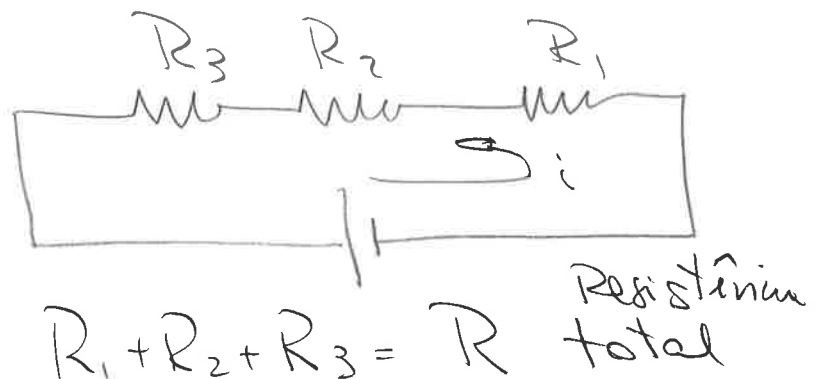


Probabilidade de Transmissão

- Regime de pressão
- Geometria do sistema

ANALOGIA A UM SISTEMA ELÉTRICO

$\Delta V \approx \Delta P$
 $R \approx$ impedância
 $i \approx$ Fluxo de massa (Q) - throughput



Definições Básicas

(4)

Condutância \equiv inverso da impedância

Condutância \equiv velocidade de bombeamento

- Depende - Regime de pressão
- Geometria do sistema

TAXA DE ESCOAMENTO :

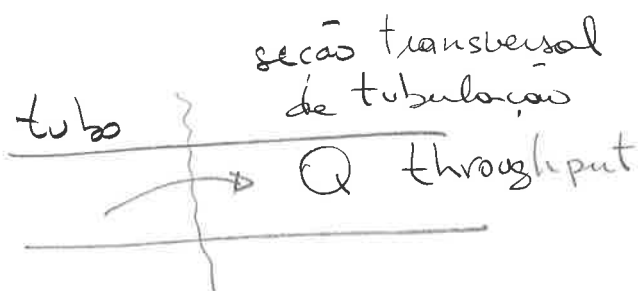
FLUXO DE MASSA

Quantidade de moléculas em um 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 cte de Boltzmann

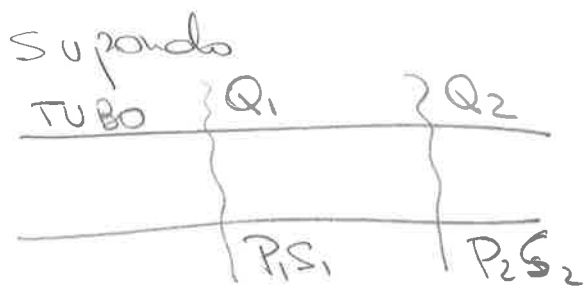


$$P \frac{\Delta V}{\Delta t} = kT \left(\frac{\Delta N}{\Delta t} \right)$$

CORRENTE MOLECULAR

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

unidade $[Q] = \text{Torr} \frac{\text{l}}{\text{s}}$



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

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

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

Unidade $\left[\frac{\text{Torr l}}{\text{s}} \right]$ $\left[\frac{\text{Pa m}^3}{\text{s}} \right]$

$$1 \frac{\text{std cc}}{\text{min}} = 1,27 \times 10^{-2} \frac{\text{Torr l}}{\text{s}}$$

$$= 1,67 \times 10^{-2} \frac{\text{atm cc}}{\text{s}}$$

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

Equação geral de um sistema de vácuo (5)

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

$$-V_0 \frac{\Delta P}{\Delta t} = PS - \sum_i Q_i$$

Lei dos gases

$$PV = N kT, \text{ então } P \frac{\Delta V}{\Delta t} = kT \frac{\Delta N}{\Delta t} \quad (I)$$

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

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

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

de I:

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

m é a massa da molécula

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

Para uma mistura de gases

$$\text{de (I)} \quad Q = kT \sum_{i=1}^j \frac{\Delta N_i}{\Delta t}$$

Algumas equações úteis

$$PV = NkT$$

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

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

multiplicando por m

$$PV = \frac{Nm}{mN_A} R_0 T$$

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

$$W = Nm = \text{massa do gás}$$

então

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

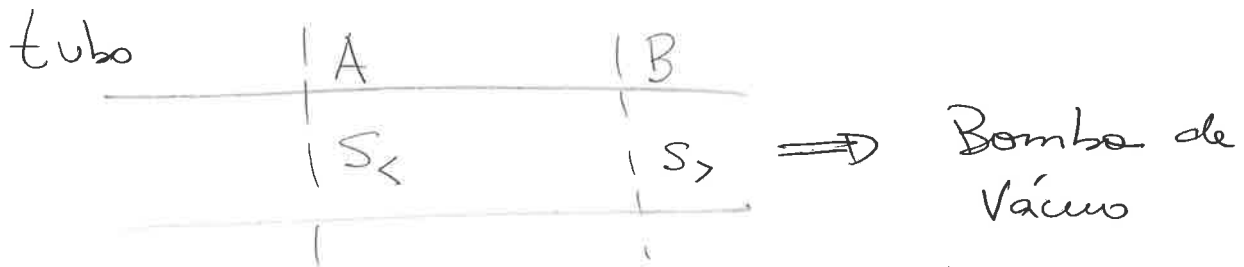
$$\Rightarrow \boxed{Q = cte \cdot \frac{\Delta W}{\Delta t}}$$

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

Escoamento de Gases

(6)

A velocidade de bombeamento não é constante ao longo da tubulação, pois S é resultante da diferença de pressão. Mas, PS é constante !!



A variação a 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.

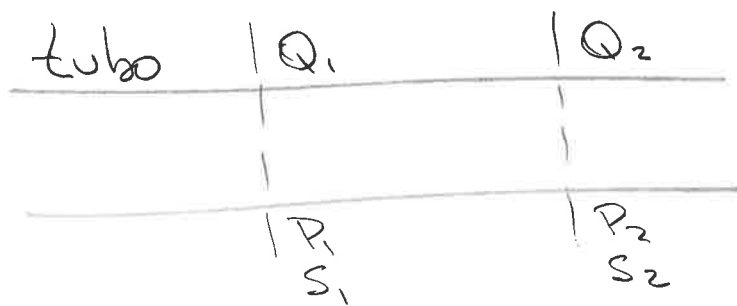
• Velocidade de bombeamento S [l/s]

característica de um ponto

• Condutância C [l/s]

Característica de dois pontos

Relação entre C e S



⇒ Bomba de Vácuo

$$Q_1 = P_1 S_1$$

$$Q_2 = P_2 S_2$$

$$\frac{1}{S_1} = \frac{P_1}{Q_1} \quad (\text{I})$$

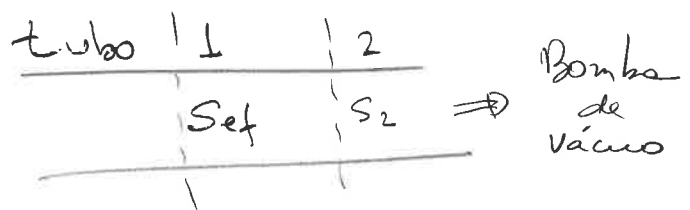
$$\frac{1}{S_2} = \frac{P_2}{Q_2} \quad (\text{II})$$

Subtraindo (I) de (II)

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

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

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



Supondo estar na boca da bomba (2)

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

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

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

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 $S_b \ll C$

$S_{ef} = S_b$

\Rightarrow situação ideal

Exemplos práticos:

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

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

(2) $S_{ef} = 60 \text{ l/s}$

$C = 50 \text{ l/s}$ $S_b = ?$

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

S_b negativo?

A bomba funciona mas não com esse velocidade efetiva.

Informações úteis

→ No regime molecular a condutância independe da pressão.

⇒ No regime viscoso as condutâncias são enormes e dependem da pressão

Definições de throughput (Q)

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

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

Revistas de tecnologia do vácuo

- ① Le Vide (FRANÇA)
- 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)