

Lista de presença
distribuir apostilas

-) Escoamento de gases
-) Teoria cinética

Definição de VÁCUO = Espaço que enclui só com gás em pressão abaixo da pressão atmosférica
 $P < 2,5 \times 10^{-19}$ moleculas/cm³

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

$$\text{PASCAL} = Pa = \frac{N}{m^2} ; \quad 1 \text{ bar} = 10^6 \frac{\text{dina}}{\text{cm}^2}$$

Diferentes valores de pressão correspondem a diferentes estruturas físicas!

Conceitos importantes { densidade molecular
 correntes livre mícidas
 tempo de formação de uma camada

Todos os conceitos estão relacionados com a pressão, ao tipo de gás e à temperatura.

TEMPO PARA FORMAÇÃO DE UMA MONOLITA

Tempo dado pela razão entre o número de moléculas necessárias para formar uma camada compacta ($\approx 8 \times 10^{14} \frac{\text{moléculas}}{\text{cm}^2}$) e a taxa de moléculas incidentes em uma superfície!!

Transparência 1

- Pressão x tempo de formação de uma nuvem
Pressão x densidade
Pressão x livre caminho moléculas
pré-vácuo - alto vácuo - ultra alto vácuo

Transparência 2

composição do ar

- pré-vácuo - mantém a mesma composição
alto-vácuo 70% a 90% Vapor d'água
ultra-alto vácuo H_2 (permeação)

Aplicações dos dia-a-dia

| | | |
|------------------|------------------|----------|
| Tubarão com-colo | pels caranguejos | 300 Torr |
| Respiração | 740 Torr | |
| Polvo | 100 Torr | |

Pressão x Altitude

nível obs mar

760 mm Hg

São Paulo

700 mm Hg (800m)

10 km

100 mm Hg (avião)

100 km

10^{-4} mm Hg

1000 km

10^{-12} mm Hg

10 000 km

10^{-14} mm Hg

distância média da luna

$\Delta x \sim 390\ 000\ km$

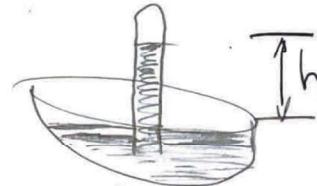
Histórico da Tecnologia do Vácuo

(2)

Transparência 31

1643 - Torricelli

Vácuo produzido no topo de uma coluna de Hg.



1654 - Otto von Guericke

Magdeburg hemisphere

demonstração a força da pressão atmosférica

- Vela não queime

- animais morrem.

1879 - Edison (lâmpada elétrica)

Lei dos gases

Boyle-Mariotte, Charles, Gay-Lussac

Bosevilli, Avogadro, Maxwell, Boltzman

1874 - McLeod-gauge

1879 - Tubo de raios catódicos (Crookes)

1906 - Pitot-Gauge

1915

W. Graede } Bomba difusora

1916

I. Langmuir } Bomba difusora

1940 Pesquisas em física nuclear } ciclotrón

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

1950 Bayard-Alpert gauge ultra-alto-vácuo (Tubos)

1953 R. Herber bombas iônicas (Fundador NEC)

Ciências

| | |
|---|----------------------------------|
| { | Espacial |
| | Superfície |
| | Semi-condutores |
| | nano tecnologia |
| | Física Nuclear |
| | Física de partículas elementares |
| | |

Definições Básicas

(3)

Unidades de Pressão

$$\text{mmHg} \equiv \text{Torr}$$

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

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

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

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

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

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

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

$$1 \text{ Torr} = 133,3 \text{ Pa}$$

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

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

Regimes de Pressão

• VISCOSE

massa de gás é grande
→ fluxo laminar
→ fluxo turbulento

• TRANSICÃO OU INTERMEDIÁRIO

• Molecular

} colisão molecular - grande
} grande e

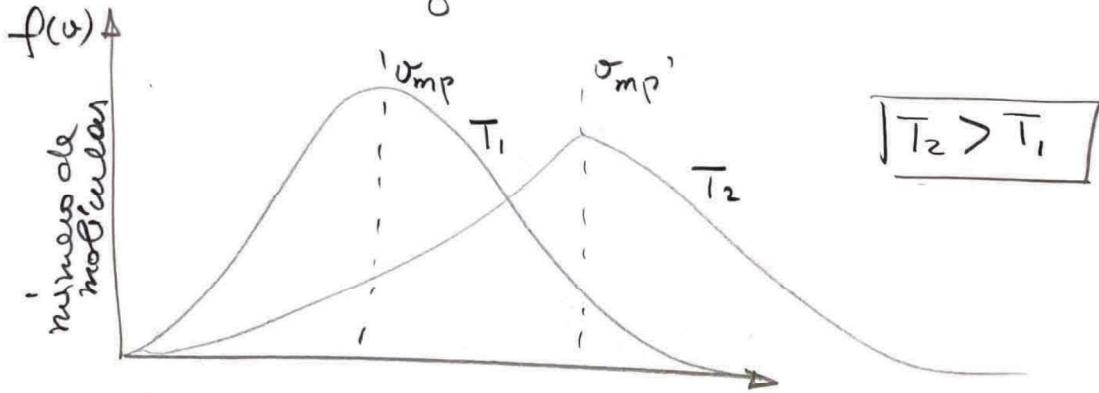
Colisões : depende da temperatura (movimento Browniano)

IMPORTANTE:

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



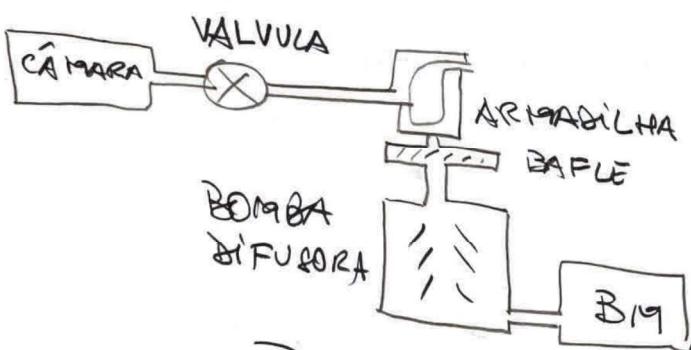
Distribuições de moléculas é regida pela distribuição de Maxwell-Boltzmann.



Teoria cinética dos gases (próxima aula)

Composição de um sistema de Vácuo básico

CÂMARA - VÁLVULAS - TUBOS E CONEXÕES - ARMADILHAS
BAFLE - Bomba de Vácuo (turbo/difusora) - Bomba pré-vácuo
(mecânico, sorção, membrana)

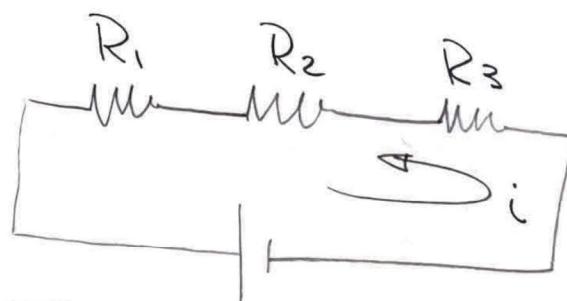


PROBABILIDADE DE TRANSMISSÃO

- { - 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



$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

Definições Básicas

(4)

Condutância = inverso da impedância

condutância = Velocidade de bombeamento

dependem } Regime de pressão
geométrica do sistema

TAXA DE ESCOAMENTO

FLUXO DE MASSA

Quantidade de moléculas que atravessam uma seção transversal por unidade de tempo.

THROUGHPUT

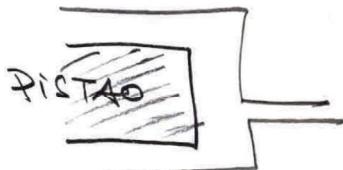
$$Q = \frac{PV}{\Delta t} = PS$$

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

tubo } seção transversal da tubulação
} $\Rightarrow Q$ (throughput)

$$Q = PS \quad \text{onde } S \text{ é a velocidade de bombeamento}$$

Lei dos gases $\Rightarrow PV = NkT$ k é a cte de Boltzmann

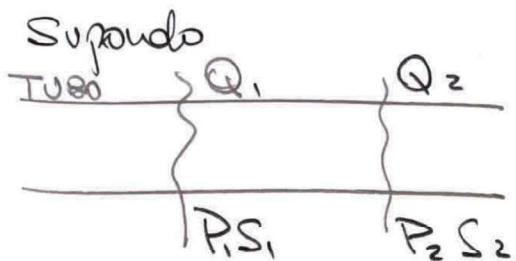


$$P \frac{\Delta V}{\Delta t} = kT \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

corrente molecular

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

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



Lei de conservação

$$Q_1 = Q_2$$

condição: Se não houver uma região que atraia moléculas e se não houver fluxo adicional (vazamentos) de moléculas para o sistema

throughput = 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 é definido como sendo a quantidade de gás, numa dada temperatura, que atravessa uma seção reta (área) por unidade de tempo.

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

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

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

Equações geral de um sistema de vácuo

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

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

USANDO A LEI DOS GASES

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

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

$$\text{então } TS = \frac{\Delta N}{\Delta t} \frac{kT}{P}$$

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

da eq.(i), podemos escrever.

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

m é a massa da molécula

corrente molecular = massa que escapa por unidade de tempo através de uma seção rete de tubulações.

Para uma mistura de gases

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

Algumas equações úteis

$$PV = NkT$$

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

$$N_A = 6,02 \times 10^{23}$$

$$PV = N \frac{R_0 T}{N_A} \quad \text{multiplicando por } m$$

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

$N_A m \equiv$ massa molecular do gás

$$\boxed{N_A m = M}$$

$W = Nm \equiv$ massa do gás

então

$$\frac{P\Delta V}{\Delta t} = \frac{R_0 T \Delta W}{M \Delta t}$$

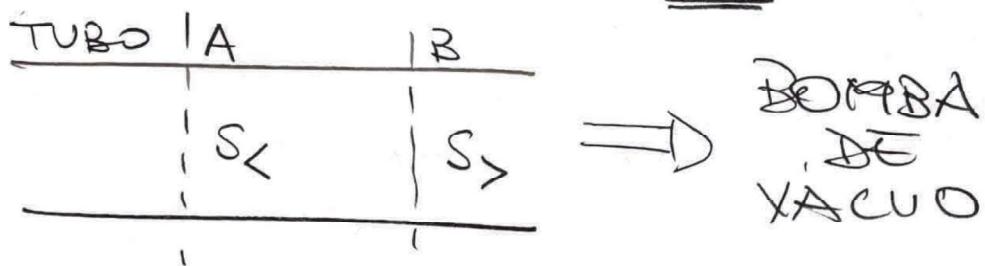
logo $\boxed{Q = \text{cte} \frac{\Delta W}{\Delta t}}$

$Q \equiv$ fluxo de massa

ESCOAMENTO DE GASES

6

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



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

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

Analogie com um circuito elétrico

$$X = \mathbb{R}^n$$

O inverso da impedância é a condutância

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

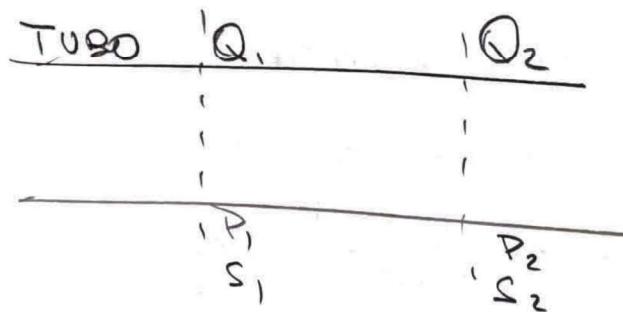
$$C = \frac{1}{2}$$

unidade [l/s]

Os colulus dependem fortemente do regime de pressão e da geometria do sistema

- Velocidade de bombeamento S [l/s]
características de um ponto
 - Condutâncias C [e/s]
características de 2 pontos

Relações entre S e C



BOMBA DE
VACUO

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

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

Subtraindo (I) de (II)

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

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

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

$$\frac{1}{S_{\text{ef}}} = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} \Rightarrow \text{Bomba de VACUO}$$

Supondo estar na boca da bomba (2)

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

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

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

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

Exemplos de utilizações dessas equações:

(7)

a) Se $S_b \gg C$

$$\boxed{S_{ef} = C}$$

Ou seja, não adianta comprar uma bomba de água com velocidade de bombeamento muito maior do que a condutância do sistema.

b) Se $S_b \ll C$

$$\boxed{S_{ef} = S_b} \rightarrow \text{Situação ideal}$$

Exemplos práticos:

① $C = 100 \text{ l/s}$ $S_{ef} = \frac{S_b C}{S_b + C} = \frac{100 \times 100}{100 + 100} = 50 \text{ l/s}$
 $S_b = 100 \text{ l/s}$

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 essa velocidade efetiva.

Informações úteis

- Regime molecular = condutâncias não dependem da pressão.
- Regime viscoso = As condutâncias são enormes e dependem da pressão.

Definições de throughput (Q)

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

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

Revistas de Tecnologia do Vácuo

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