



ATIVIDADES PRÁTICAS CICLO I

4300323 – CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO VÁCUO

1º semestre de 2020

Nilberto Heder Medina

medina@if.usp.br

Vitor Angelo Paulino de Aguiar

vitor_ap_aguiar@hotmail.com

Saulo Gabriel Alberton

alberton@if.usp.br



LABORATÓRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO VÁCUO

❑ Conjunto de atividades divididas em 3 ciclos:

- **Ciclo 1:** Estudo de medidores de pressão (**3 aulas**)
- **Ciclo 2:** Velocidade de bombeamento e condutâncias (**3 aulas**)
- **Ciclo 3:**
 - Detecção de vazamentos, vedações e componentes (**1 aula**)
Local: Acelerador Pelletron
 - Laboratório de Filmes Finos (**1 aula**)
Local: Acelerador Pelletron

EXPERIMENTOS

SEGURANÇA

- Cuidado com as correias das bombas mecânicas, temperatura da bomba difusora, alta tensão no medidor Penning, temperatura do nitrogênio líquido;
- Cuidados com os equipamentos: medidores sensíveis e/ou vidro, evitar a entrada de óleo na câmara, atentar para o resfriamento da bomba difusora;
- Independência por parte do aluno é fundamental

BOMBAS DE VÁCUO

Bombas distintas e seus respectivos limites de operação

- Bomba Mecânica
- Bomba de Difusão



BOMBAS DE VÁCUO

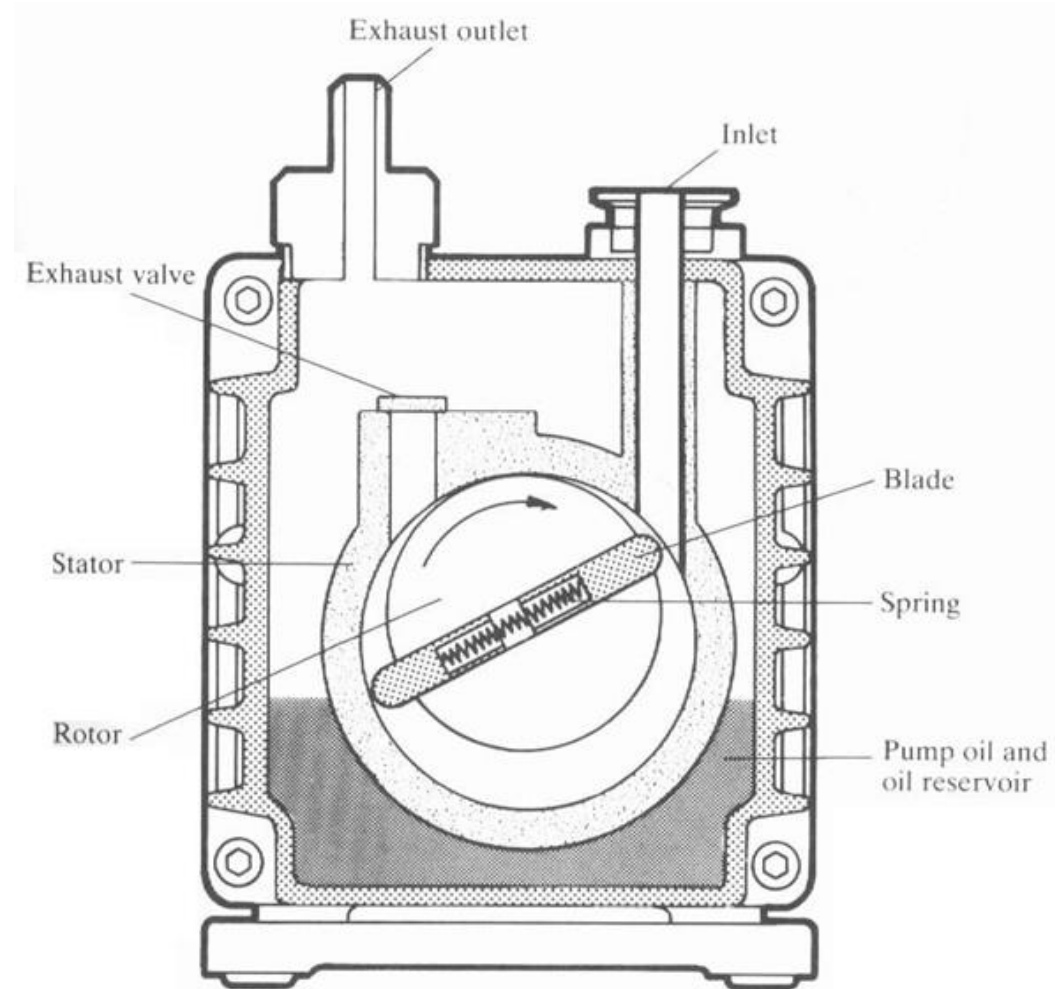
❑ BOMBA MECÂNICA



$$S = 3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \approx 0.8 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$$

Funções do óleo:

- Vedação
- Lubrificação
- Ação anti-corrosive
- Refrigeração



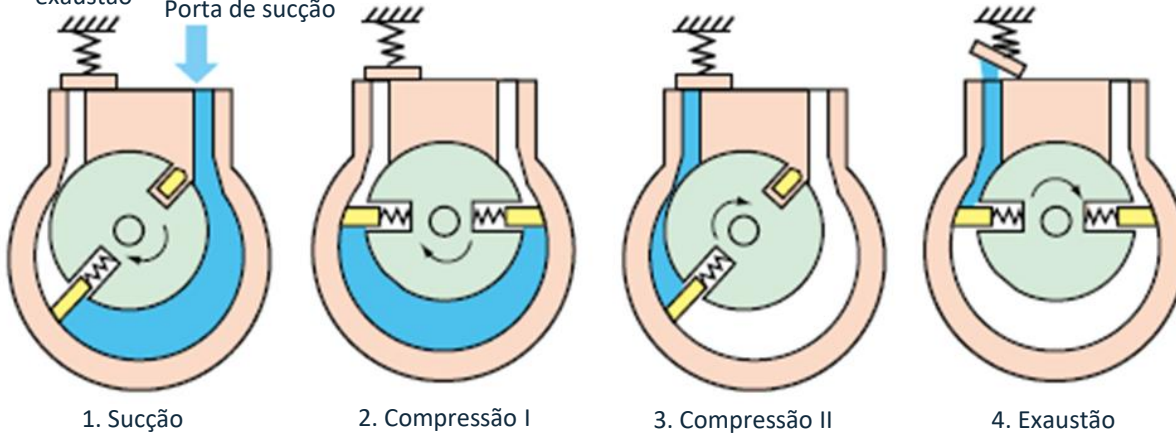
BOMBAS DE VÁCUO

❑ BOMBA MECÂNICA: ROTATIVA

• 01 estágio

Válvula de
exaustão

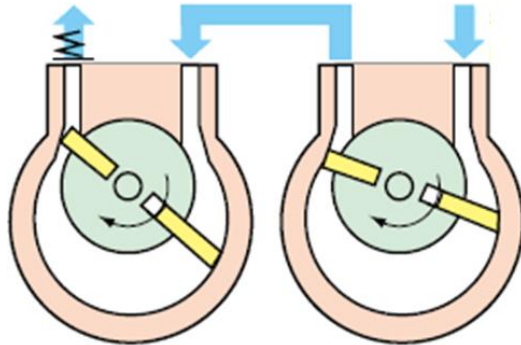
Porta de sucção



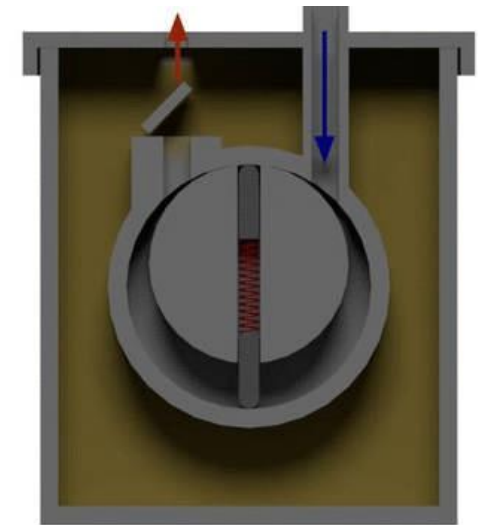
• 02 estágios

Válvula de exaustão

Porta de sucção

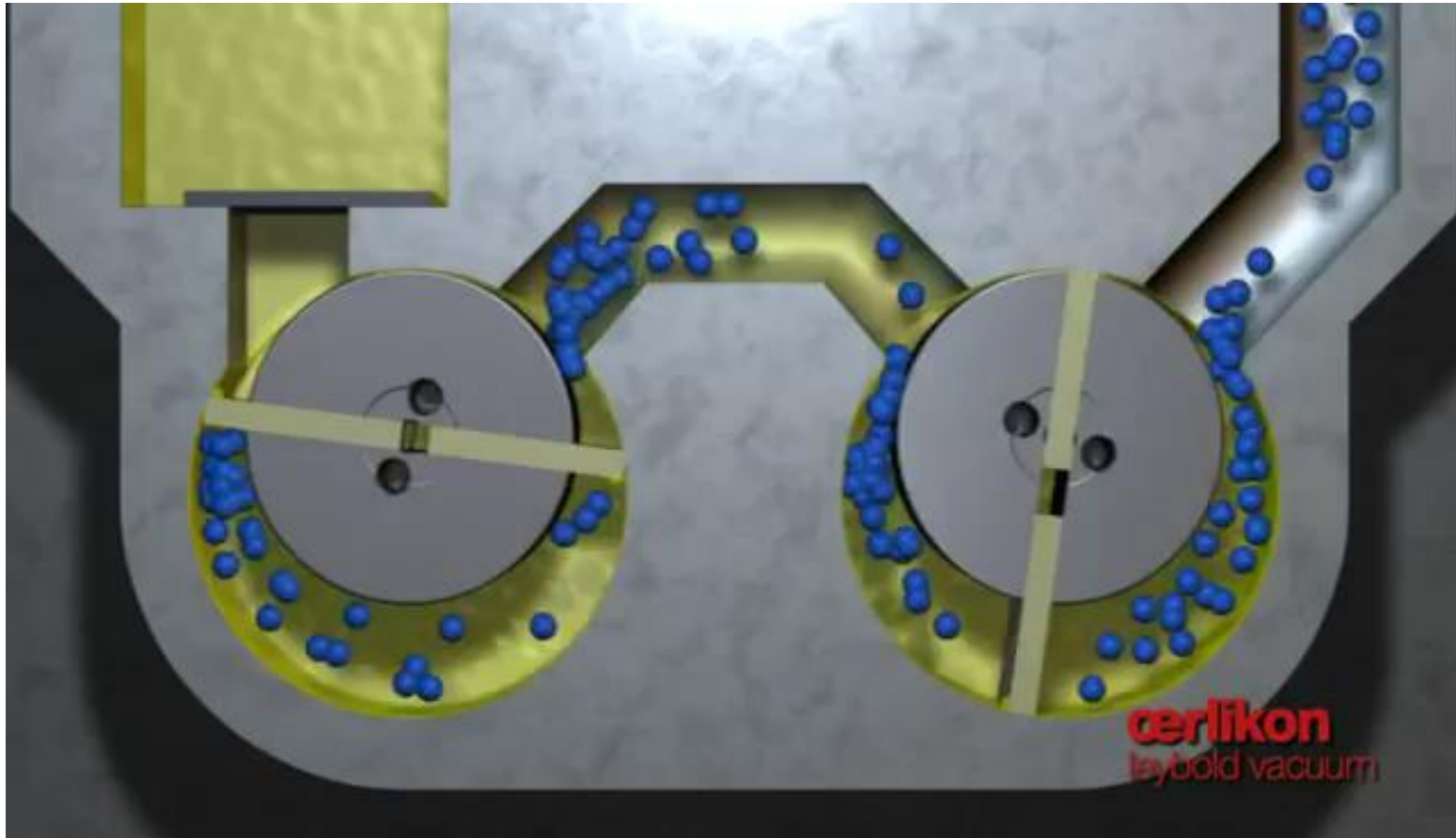


• Palheta rotativa



BOMBAS DE VÁCUO

☐ GAS BALLAST



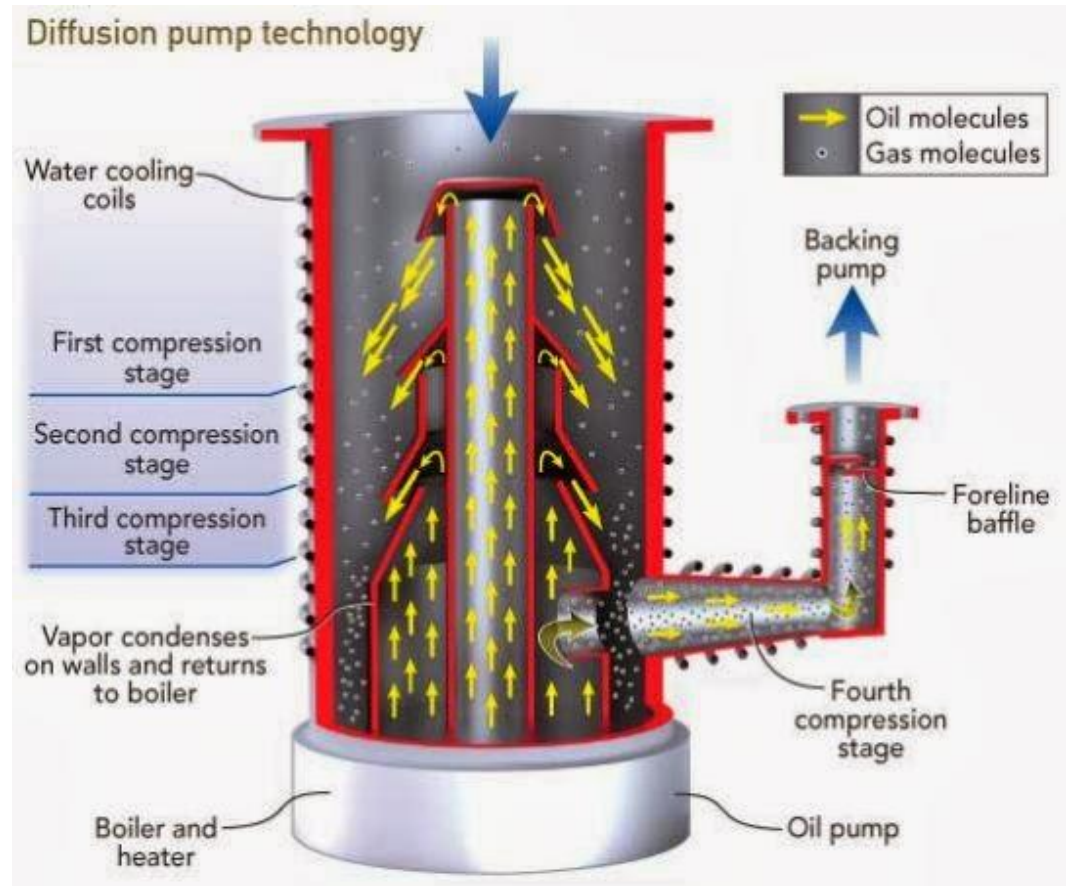
BOMBAS DE VÁCUO

❑ BOMBA DE DIFUSÃO



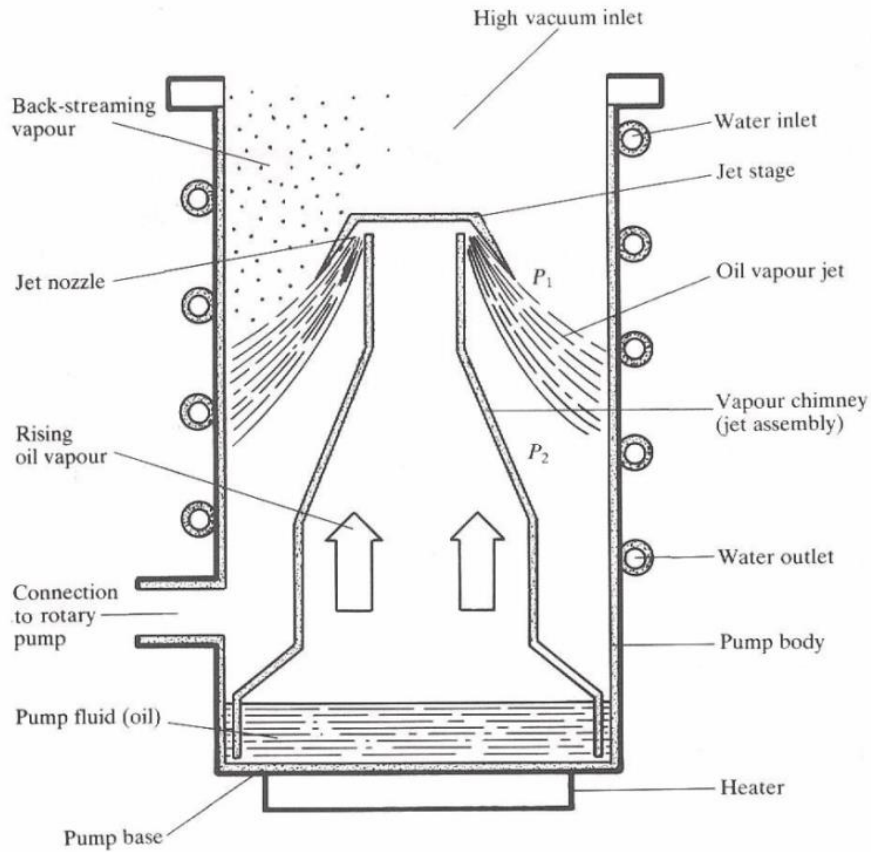
BOMBAS DE VÁCUO

❑ BOMBA DE DIFUSÃO

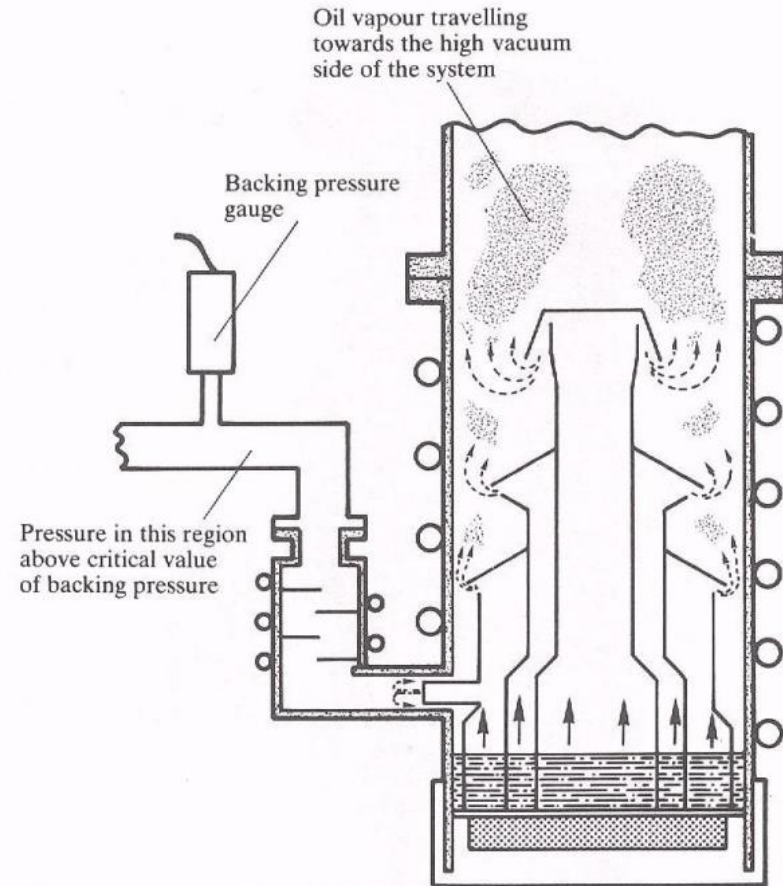


BOMBAS DE VÁCUO

❑ BOMBA DE DIFUSÃO



(Note: Pressure P_1 is less than P_2 . Water flow is down the pump.)



BOMBAS DE VÁCUO

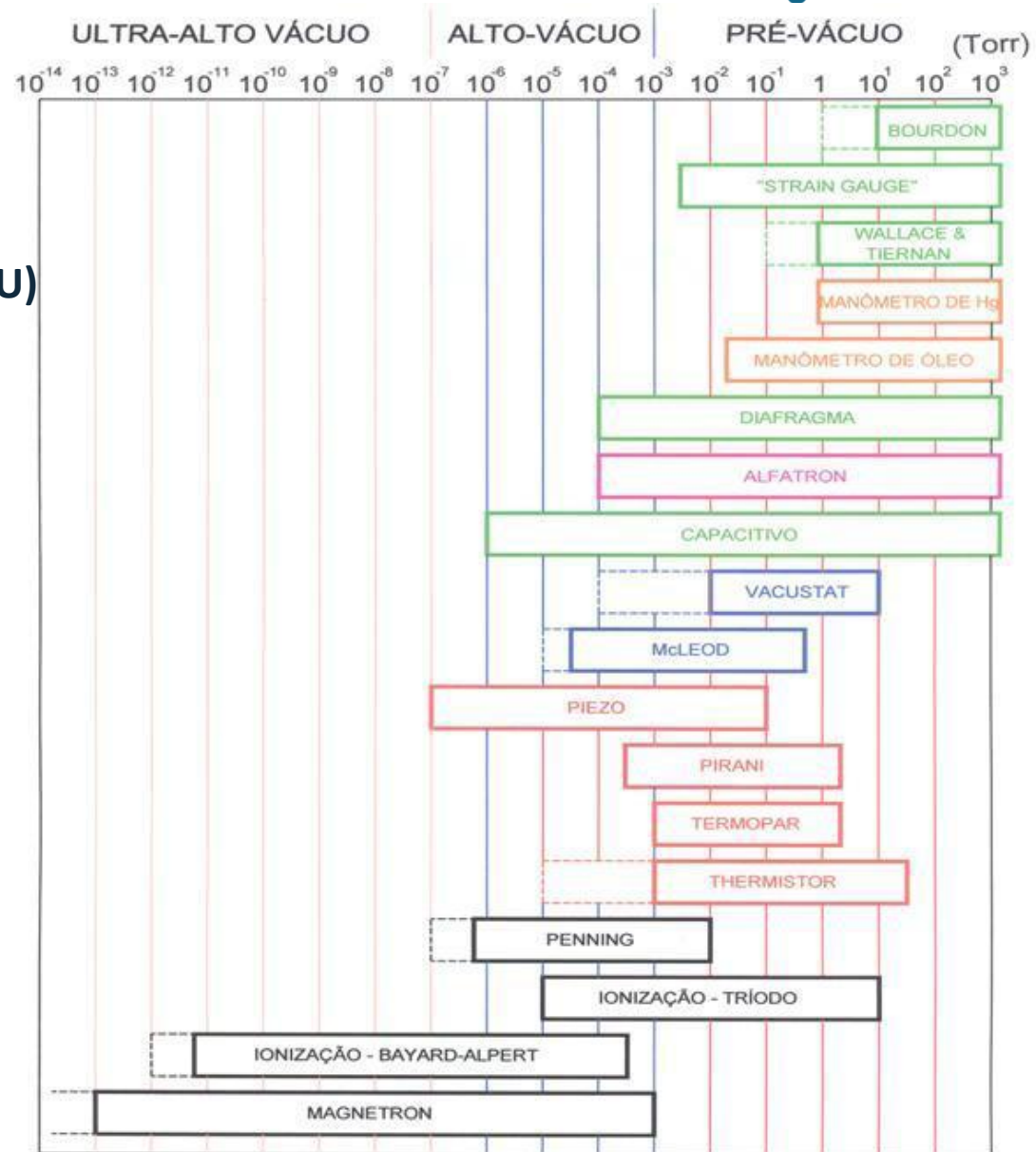
❑ CUIDADOS A SEREM OBSERVADOS

- Cuidados com a bomba rotativa
 - Verificar o nível de óleo da bomba
 - Verificar a tensão de operação
 - Verificar as condições da correia
- Cuidados com a bomba difusora
 - Verificar a tensão da resistência (220 V)
 - Verificar o fluxo de água ou o ventilador
 - Tomar cuidado para evitar pressões maiores que 10^{-3} Torr .

MEDIDORES DE VÁCUO

☐ VACUÔMETROS

- Kammerer (Mc Leod + Tubo em U)
- Vacustat
- Wallace & Tiernan
- Strain Gauge
- Pirani
- Termopar
- Thermistor
- Penning
- Bayard-Alpert

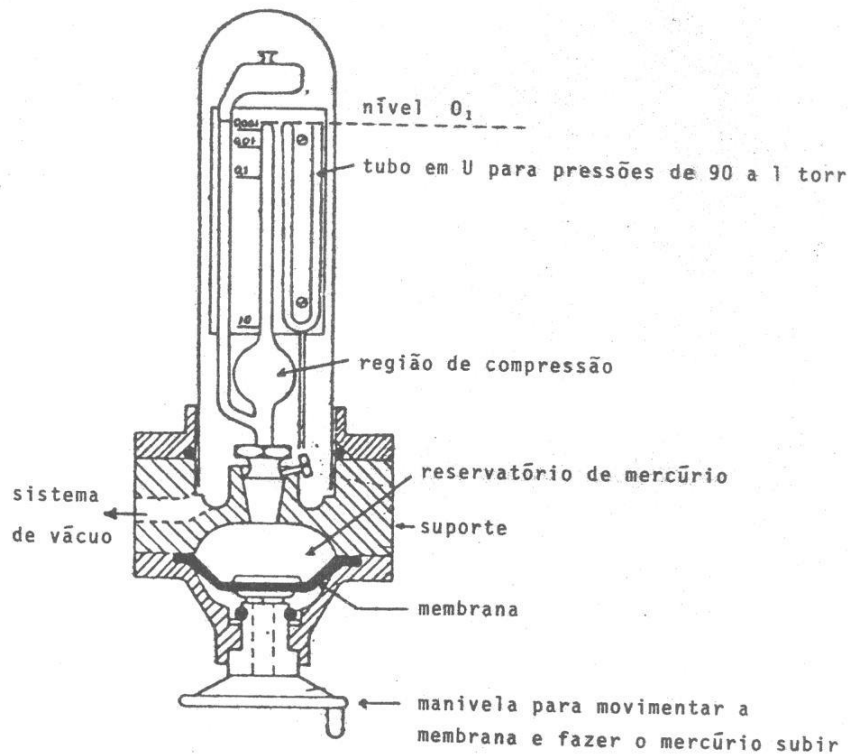


MEDIDORES DE VÁCUO

☐ KAMMERER

Tubo em U + McLeod

- **Tubo em U: 90 a 1 Torr**
- **McLeod: 1 a 10^{-2} Torr**



MEDIDORES DE VÁCUO

☐ KAMMERER

Tubo em U + McLeod

- **Tubo em U: 90 a 1 Torr**

O Tubo em U é o medidor direto mais simples

- Mercúrio ou óleo de bombas difusoras são líquidos geralmente utilizados

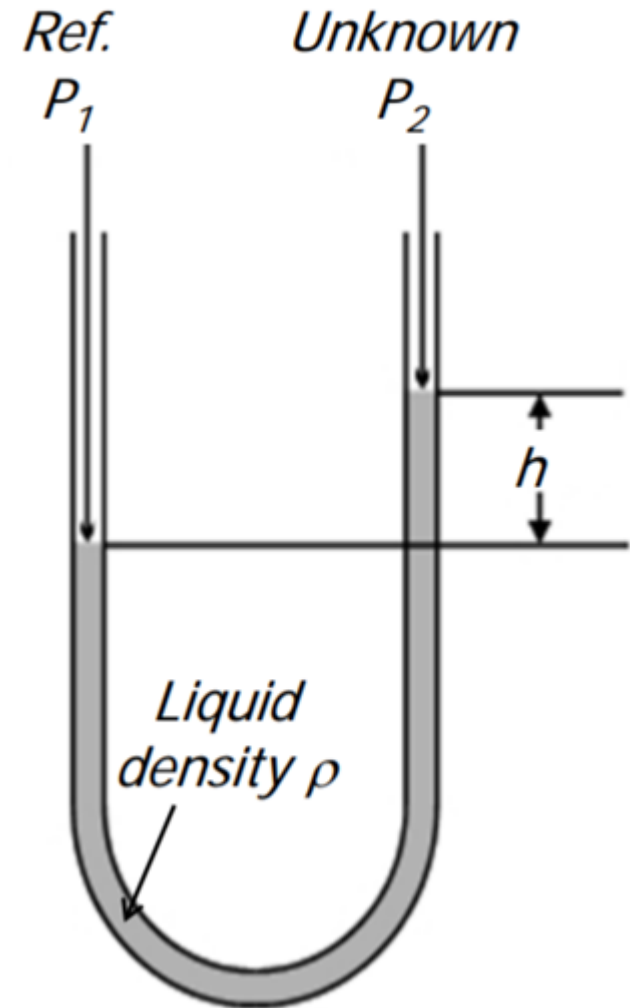
$$P_{\text{vapor}}(\text{Hg}) = 0,16 \text{ Pa} \approx 1,2 \times 10^{-3} \text{ Torr}$$

$$P_{\text{vapor}}(\text{Óleo}_{\text{diff}}) = 10^{-6} \text{ Pa} \approx 7,5 \times 10^{-9} \text{ Torr}$$

- A principal fonte de erro está na medida de h

$$P_1 - P_2 = h\rho g$$

Curiosidade: Métodos elaborados para medir h utilizam interferômetros ópticos ou ultra-sônicos, permitindo acurácia de 1,4 mPa ($\sim 1 \times 10^{-5}$ Torr) no intervalo de 1 Pa ($\sim 7,5 \times 10^{-3}$ Torr) a 100 kPa (~ 750 Torr) no *National Institute of Standards and Technology* (NIST).



MEDIDORES DE VÁCUO

☐ KAMMERER

Tubo em U + McLeod

- **McLeod: 1 a 10^{-2} Torr**

O McLeod estende o intervalo do manômetro Tubo em U através da Lei de Boyle

Antes e após o corte: $PV = P_f V_f = (P + h\rho g) \times Ah$

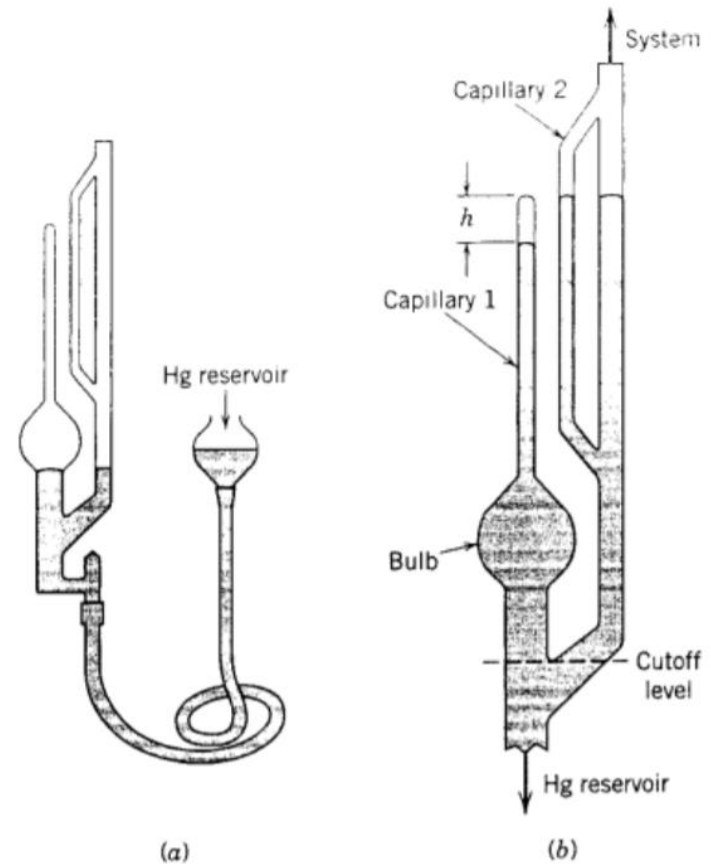
“Modo quadrático”

$$P = \frac{A\rho gh^2}{V - Ah} \approx \frac{A\rho gh^2}{V}$$

Observação: o uso do McLeod assume que os gases obedecem à Lei de Boyle. Gases condensáveis e vapores não obedecem à Lei de Boyle.

Curiosidade: ao manter fixa a distância d entre a superfície de Hg no capilar (1) e sua extremidade fechada, enquanto a altura do capilar (2) é permitida variar, o McLeod opera no “modo linear”

$$P = \frac{Ad\rho gh}{V - Ah} \approx \frac{Ad\rho gh}{V}$$



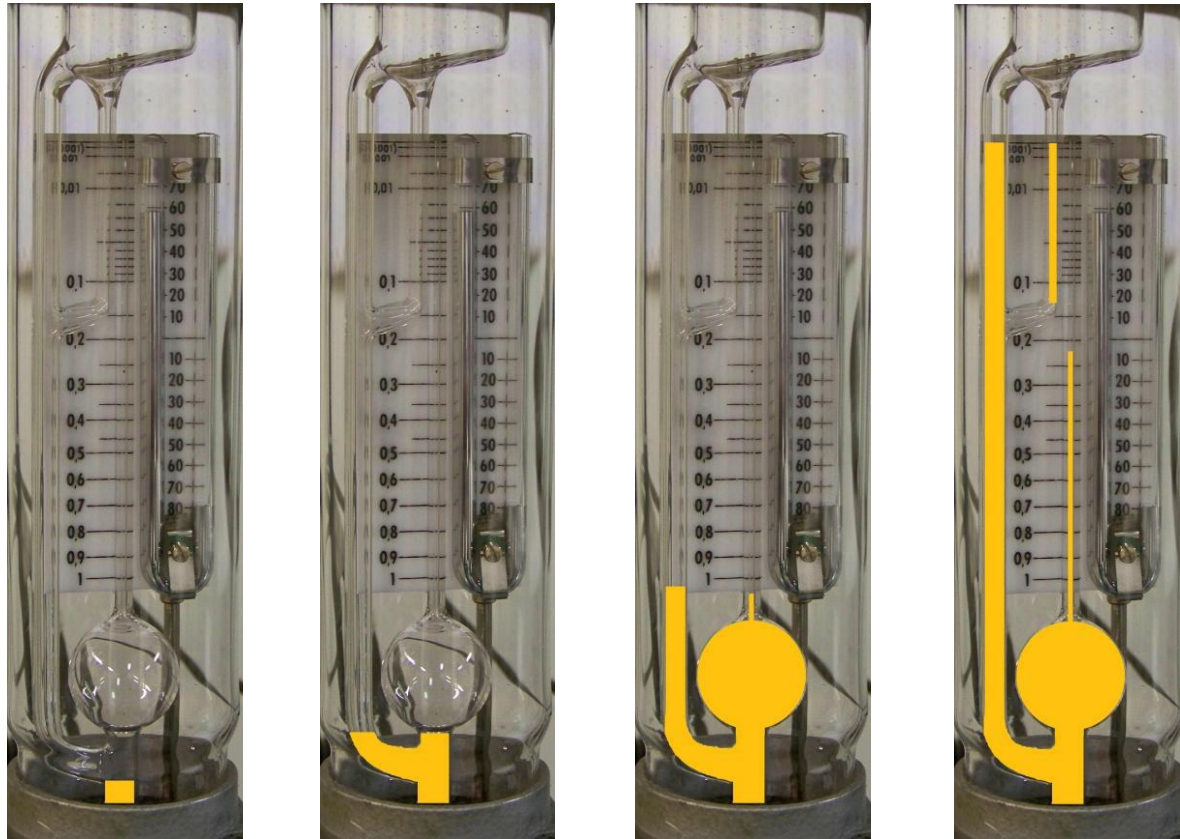
$V \equiv$ volume conhecido acima do corte
 $A \equiv$ área transversal dos capilares 1 e 2

MEDIDORES DE VÁCUO

☐ KAMMERER

Tubo em U + McLeod

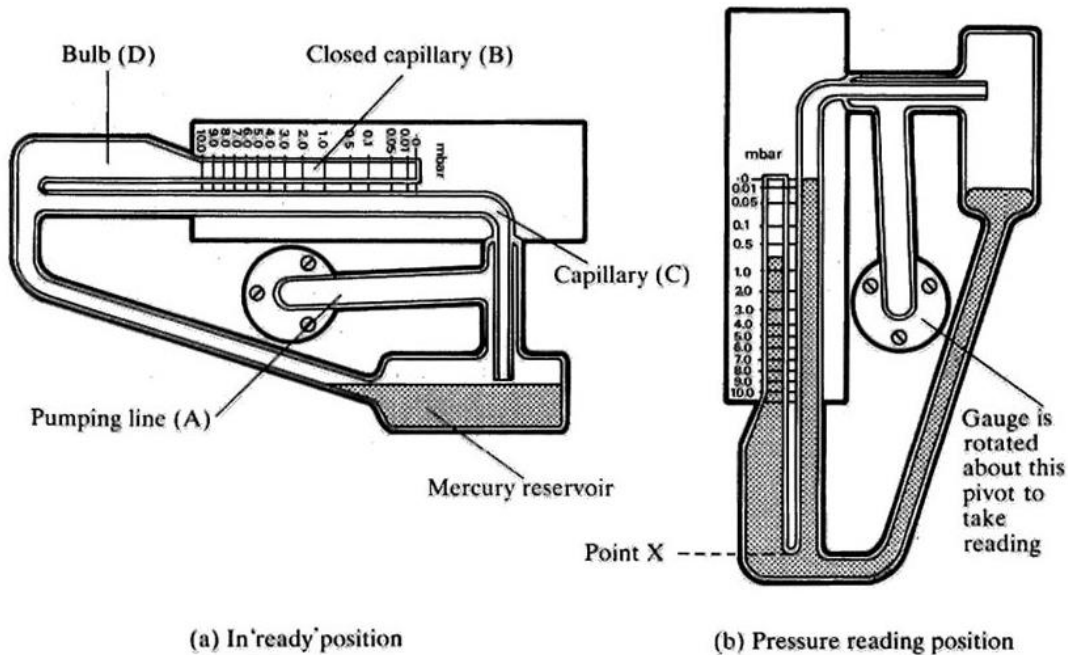
- **McLeod: 1 a 10^{-2} Torr**



MEDIDORES DE VÁCUO

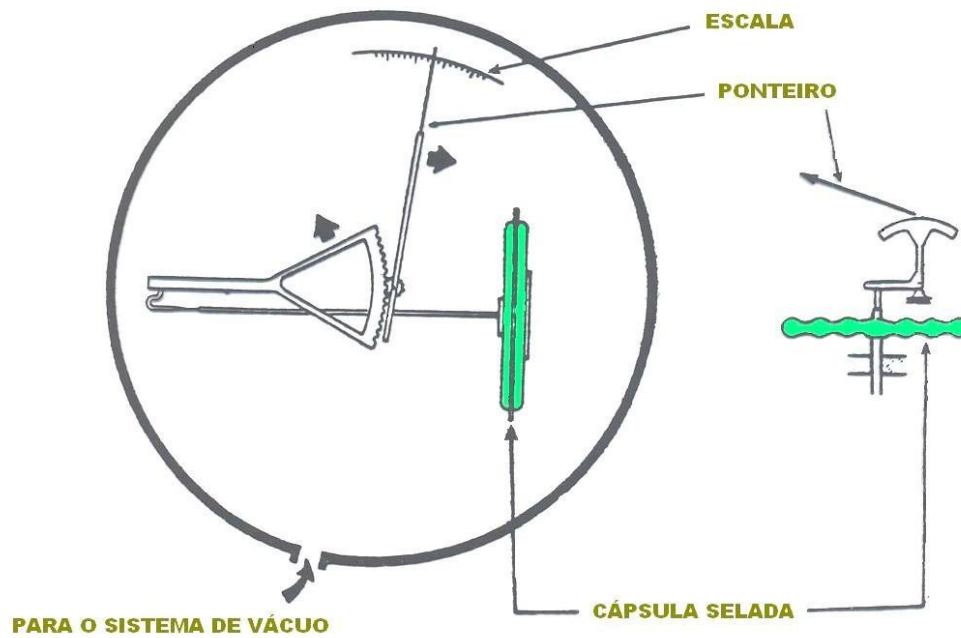
☐ VACUSTAT

Modo de leitura semelhante ao McLeod, porém mais robusto e resistente



MEDIDORES DE VÁCUO

❑ WALLACE & TIERNAN

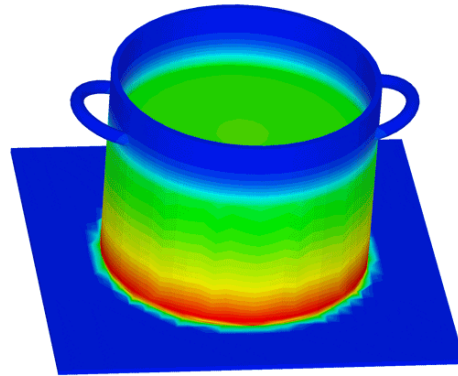


MEDIDORES DE VÁCUO

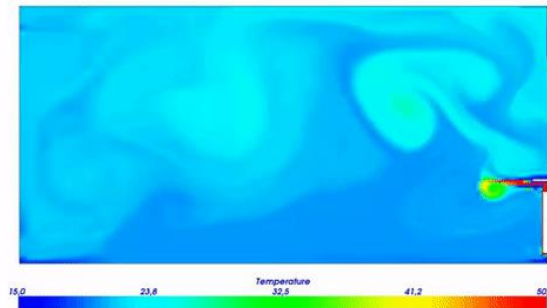
☐ MEDIDORES DE TERMO-CONDUTIVIDADE

Transferência de Energia Térmica

- Condução

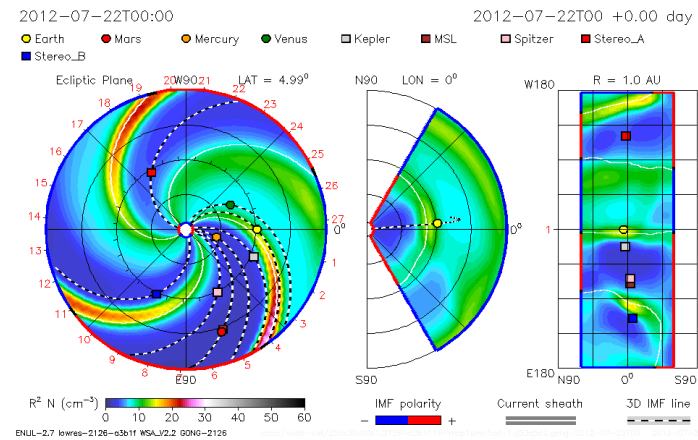
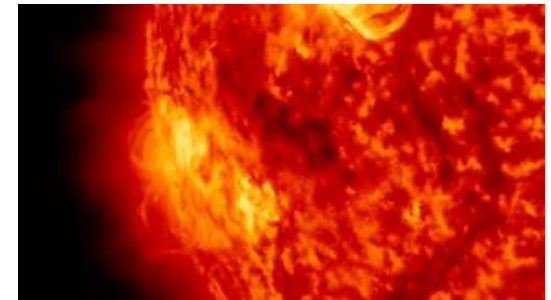


- Convecção



- Radiação

*relevante apenas em pressões 10^{-5} torr



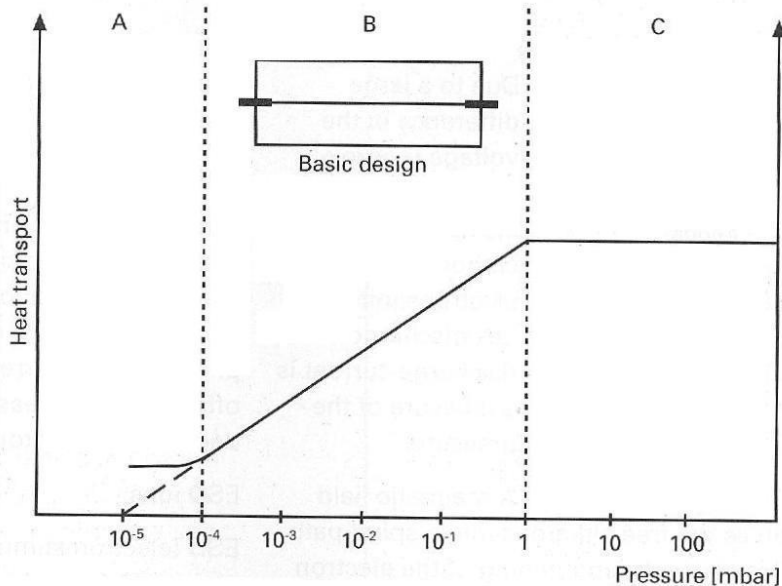
MEDIDORES DE VÁCUO

❑ MEDIDORES DE TERMO-CONDUTIVIDADE

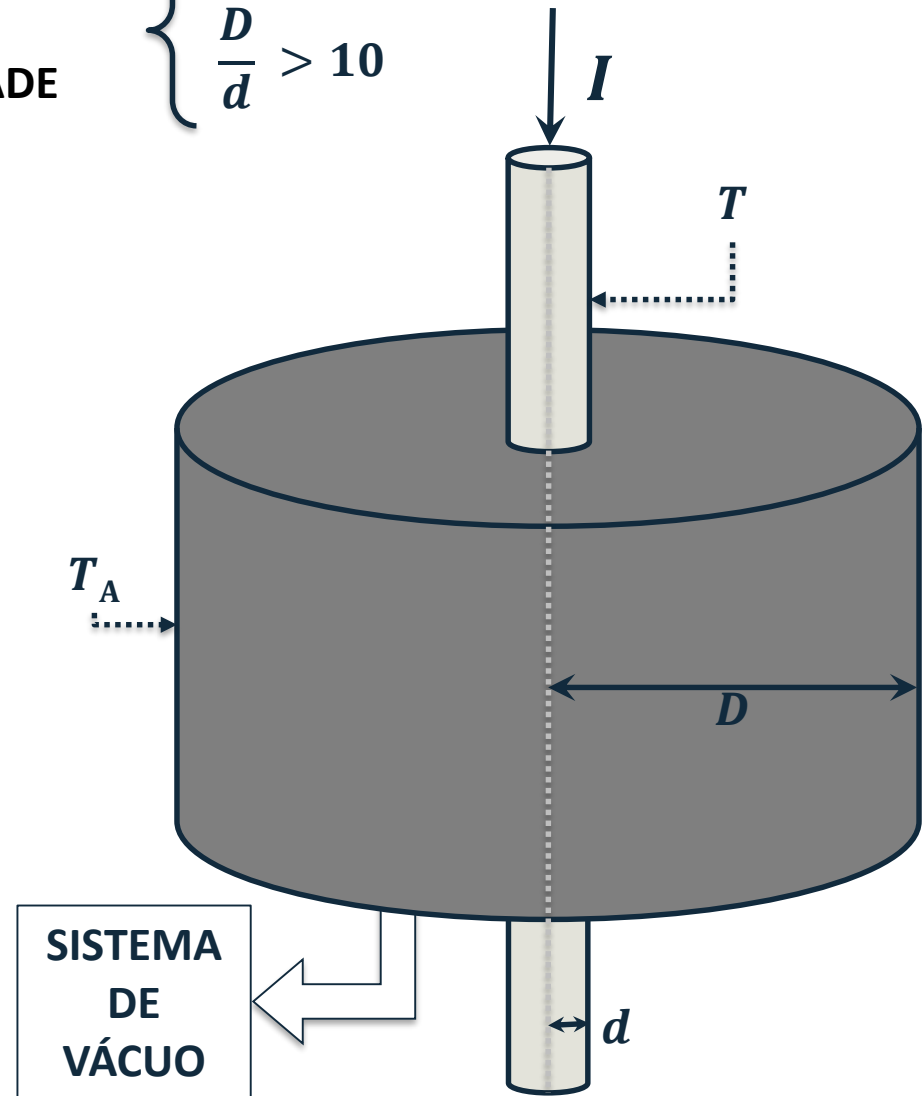
Princípio de Funcionamento

O fio é aquecido por efeito Joule através de uma corrente elétrica.

Em certo intervalo de pressão, a transferência de calor do fio às paredes da câmara diminui com a redução da pressão.



$$\left\{ \begin{array}{l} T > T_A \\ \frac{D}{d} > 10 \end{array} \right.$$



MEDIDORES DE VÁCUO

❑ MEDIDORES DE TERMO-CONDUTIVIDADE

$$\left\{ \begin{array}{l} T > T_A \\ \frac{D}{d} > 10 \end{array} \right.$$

Princípio de Funcionamento

Energia térmica transferida do fio ao gás:

$$E_{\text{gas}} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\gamma + 1}{\gamma - 1} \cdot \alpha \cdot \sqrt{\frac{2k}{\pi m_{\text{molecular}} T_A}} (T - T_A) P$$

$\alpha \equiv$ coeficiente de acomodação do gás

$$\gamma = c_p / c_v$$

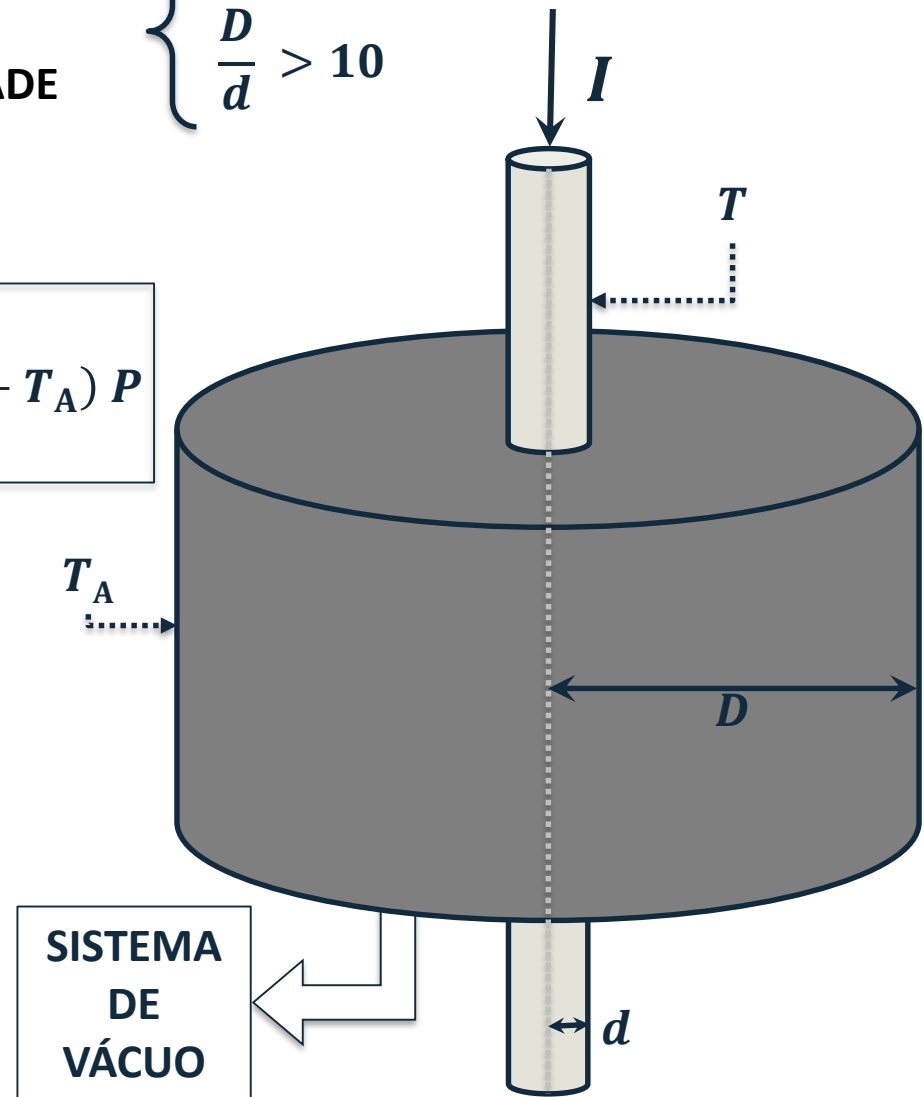
$c_p \equiv$ calor específico a pressão constante

Tipicamente:

$$\gamma = 1,667 \text{ (átomos)}$$

$$\gamma = 1,40 \text{ (diatômicas)}$$

$$\gamma = 1,31 \text{ (triatômicas)}$$



MEDIDORES DE VÁCUO

❑ MEDIDORES DE TERMO-CONDUTIVIDADE

Princípio de Funcionamento

Energia térmica transferida do fio ao gás:

$$E_{\text{gas}} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\gamma + 1}{\gamma - 1} \cdot \alpha \cdot \sqrt{\frac{2k}{\pi m_{\text{molecular}} T_A}} (T - T_A) P$$

$\alpha \equiv$ coeficiente de acomodação do gás

$$\gamma = c_p / c_v$$

$c_p \equiv$ calor específico a pressão constante

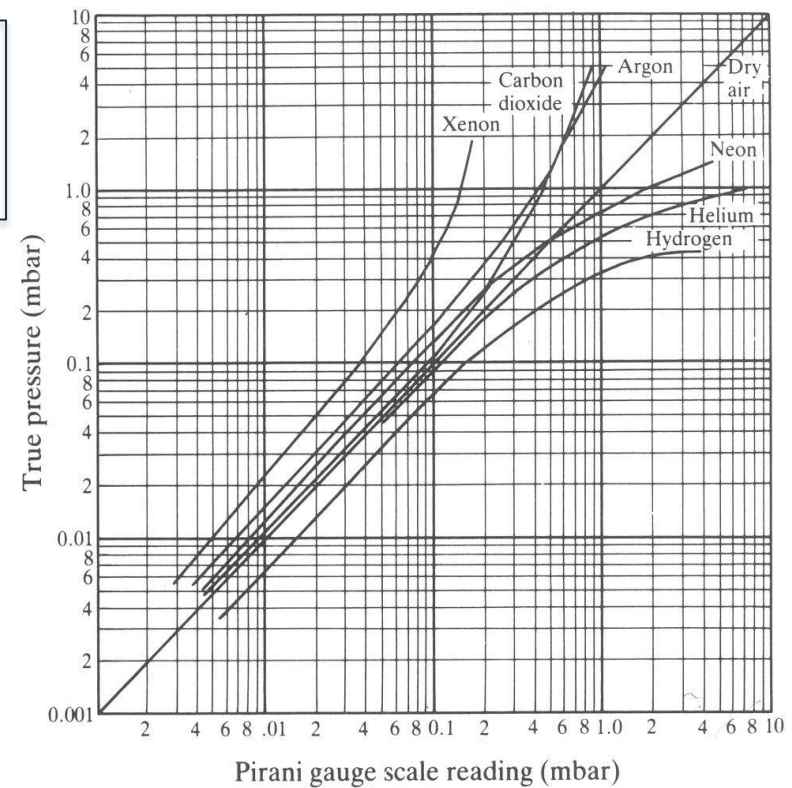
Tipicamente:

$$\gamma = 1,667 \text{ (átomos)}$$

$$\gamma = 1,40 \text{ (diatômicas)}$$

$$\gamma = 1,31 \text{ (triatômicas)}$$

- Dependência com a massa molecular

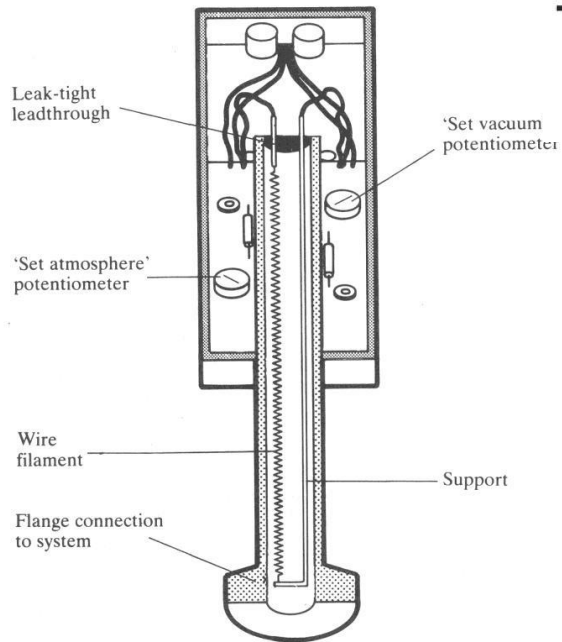


MEDIDORES DE VÁCUO

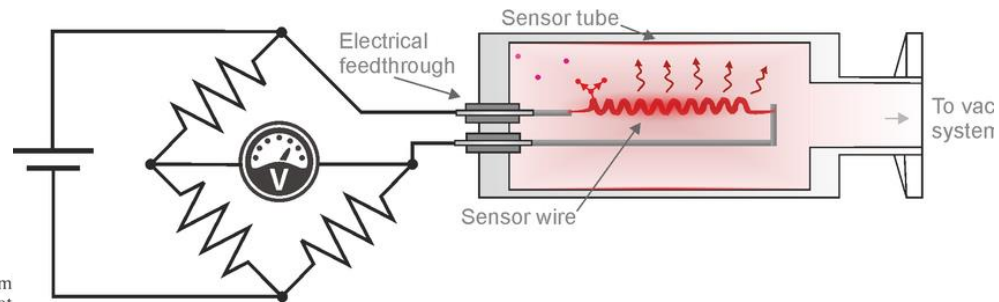
❑ MEDIDORES DE TERMO-CONDUTIVIDADE

- Pirani

Medida de corrente elétrica na configuração Ponte de Wheastone

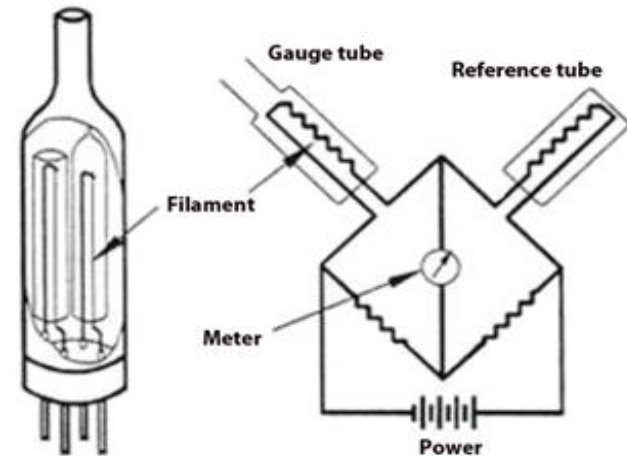


- Circuito clássico



- Circuito compensador

Para minimizar efeitos de ΔT_A

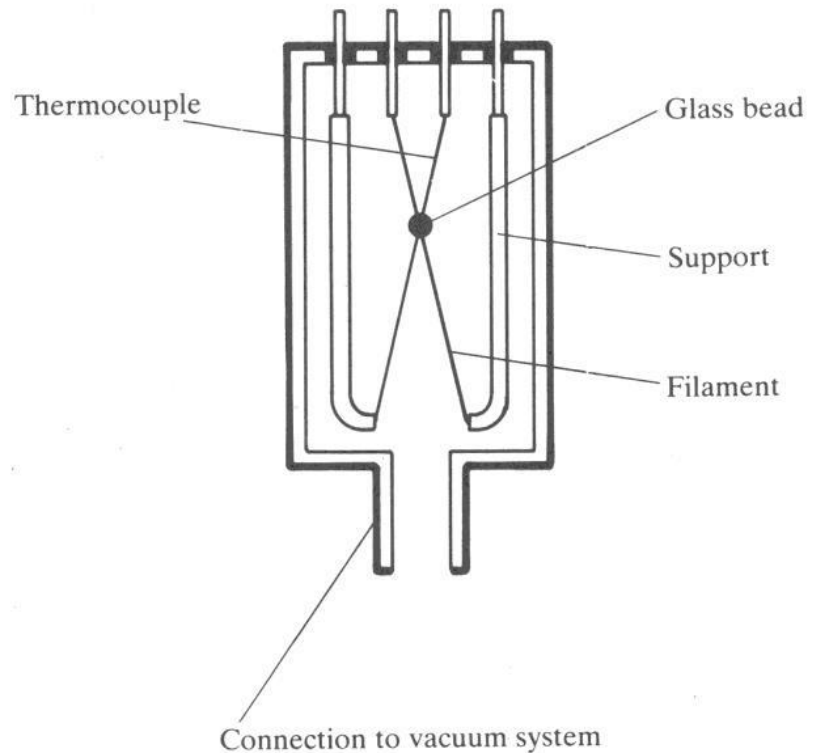
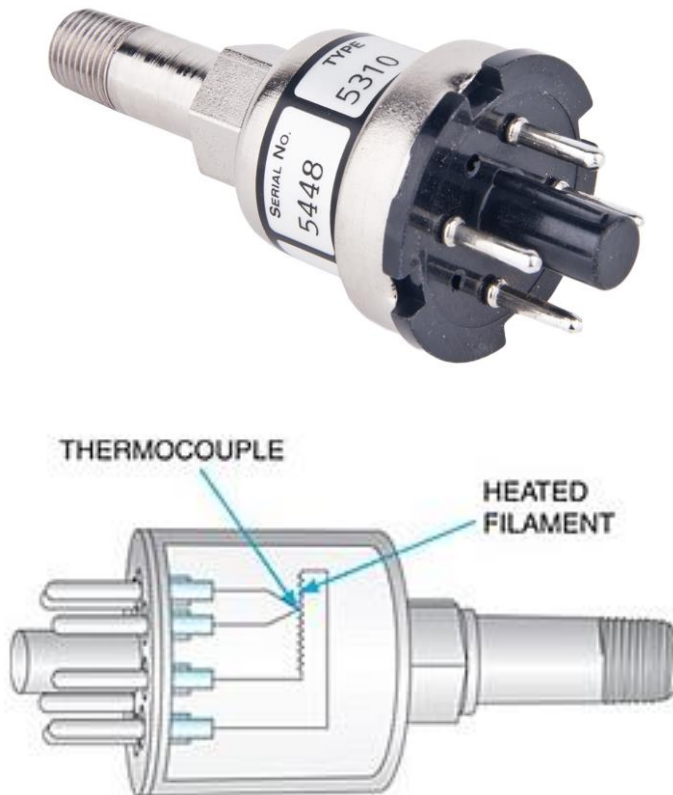


MEDIDORES DE VÁCUO

☐ MEDIDORES DE TERMO-CONDUTIVIDADE

- Termopar

Medida de tensão elétrica na configuração Ponte de Wheastone

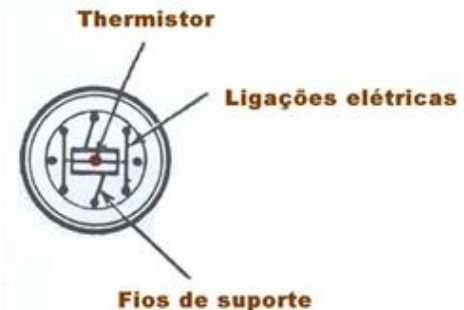
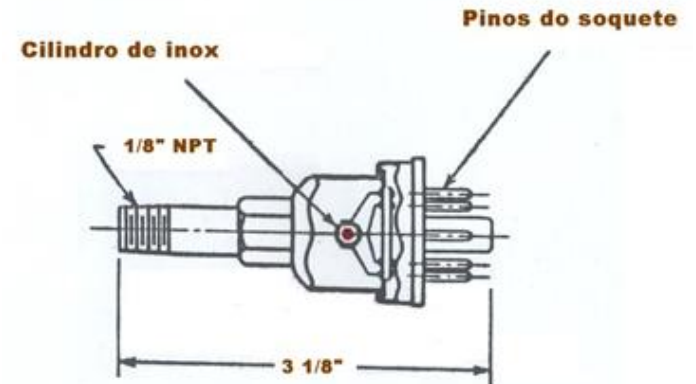


MEDIDORES DE VÁCUO

☐ MEDIDORES DE TERMO-CONDUTIVIDADE

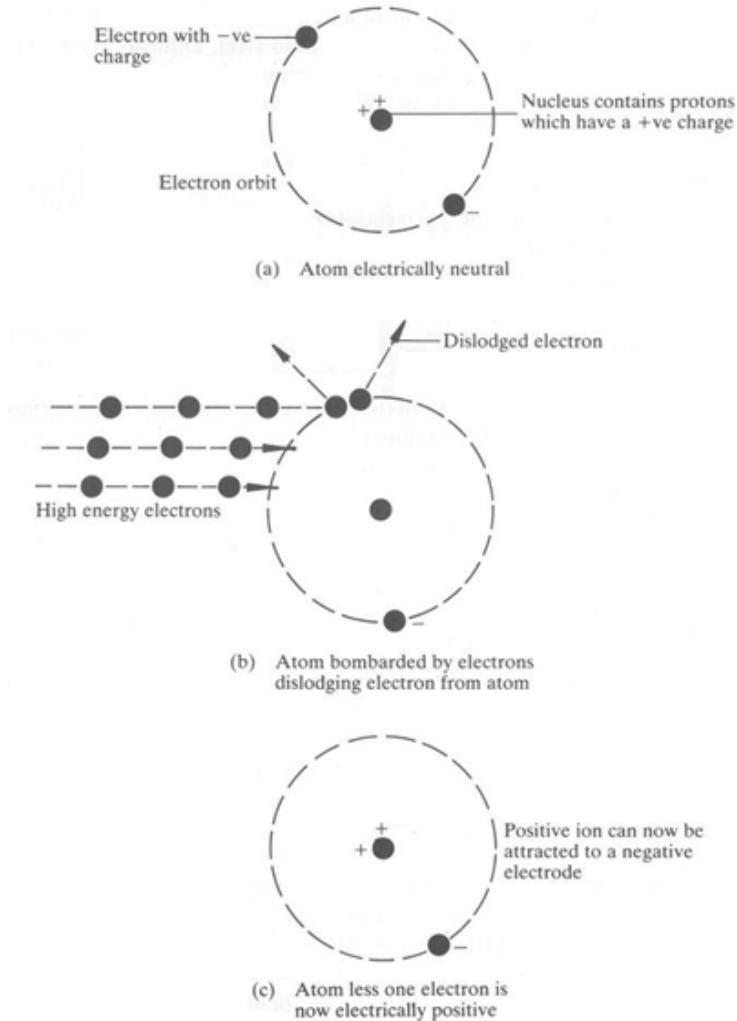
- **Thermistor**

Medida de uma resistência variável dependente da temperatura (thermistor) na configuração Ponte de Wheastone

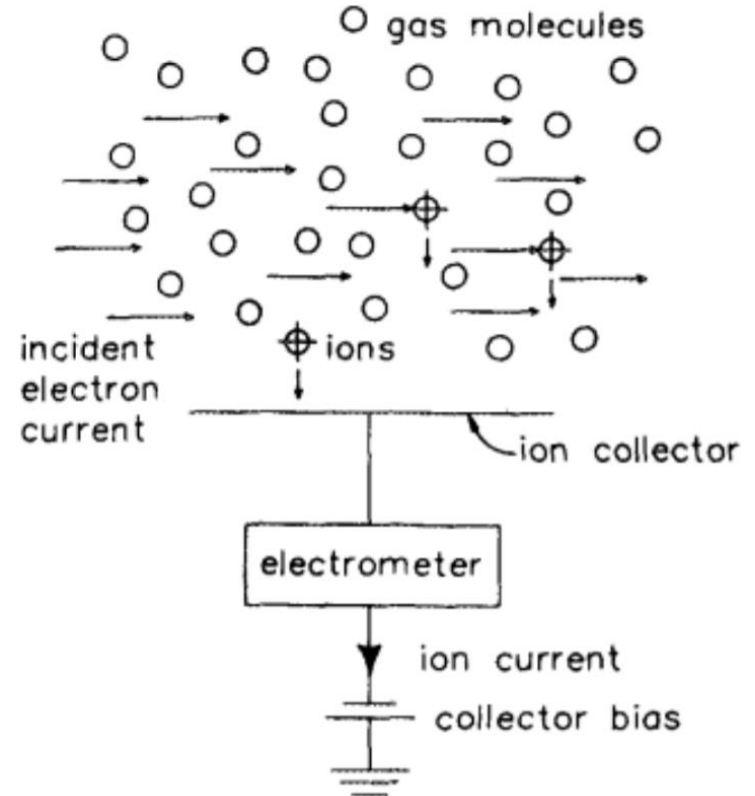


MEDIDORES DE VÁCUO

☐ MEDIDORES DE IONIZAÇÃO

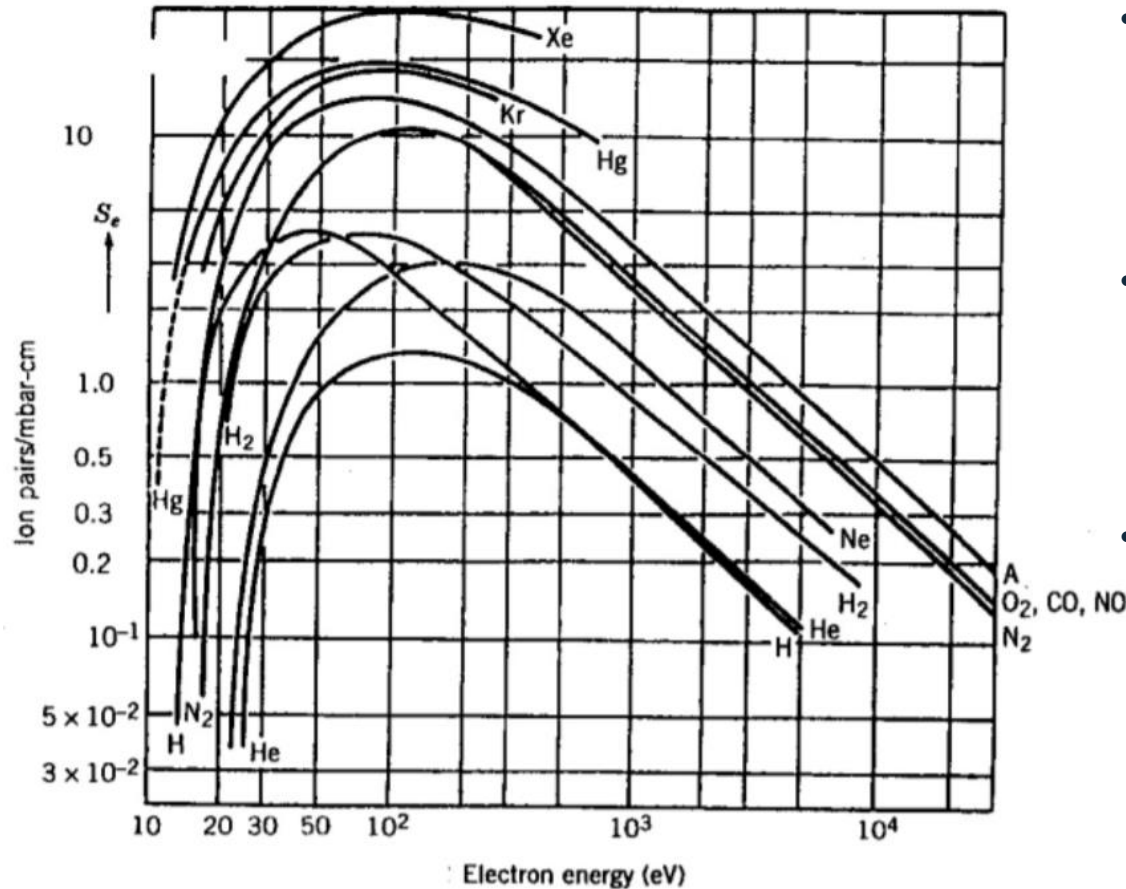


- À baixa pressão, a taxa de ionização é proporcional à concentração molecular ($c_{\text{molecular}}$) do gás
- À temperatura constante, $P \propto c_{\text{molecular}}$



MEDIDORES DE VÁCUO

☐ MEDIDORES DE IONIZAÇÃO



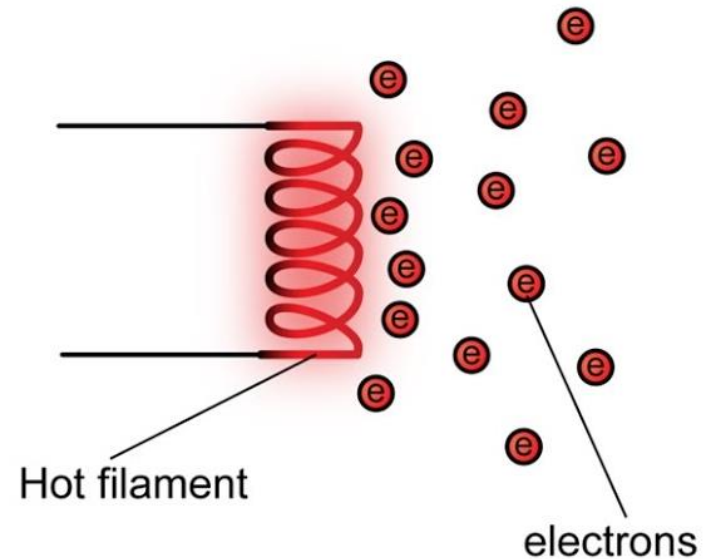
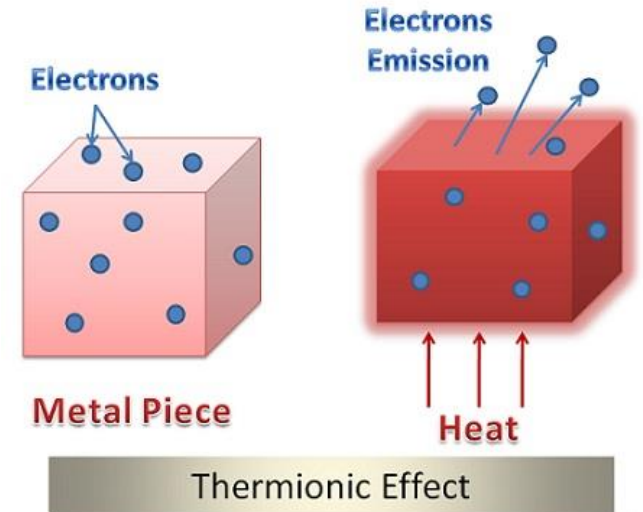
- A taxa de ionização por impacto de elétrons (@ $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$) é máxima para energias entre $E = 50 \sim 200 \text{ eV}$ para diversos gases
- **Medidores de Cátodo Quente**
Elétrons são emitidos termoionicamente e acelerados por campo elétrico
- **Medidores de Cátodo Frio**
Elétrons são iniciados por emissão de campo (ou radiação) e armadilhados/amplificados em um campo eletromagnético cruzado

MEDIDORES DE VÁCUO

☐ MEDIDORES DE IONIZAÇÃO

Cátodo Quente

- Bayard-Alpert

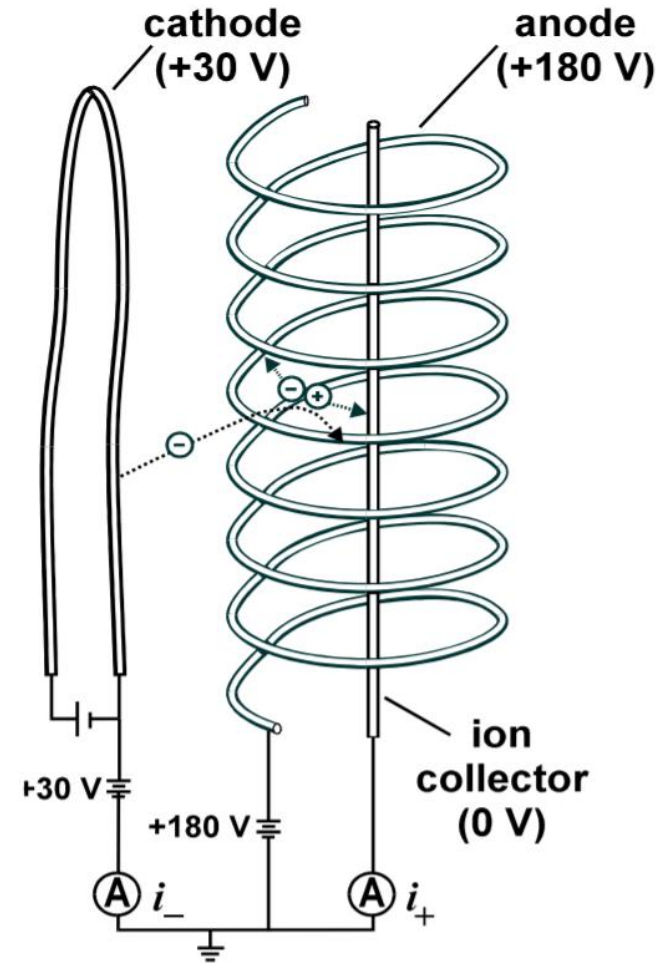


MEDIDORES DE VÁCUO

☐ MEDIDORES DE IONIZAÇÃO

Cátodo Quente

- Bayard-Alpert

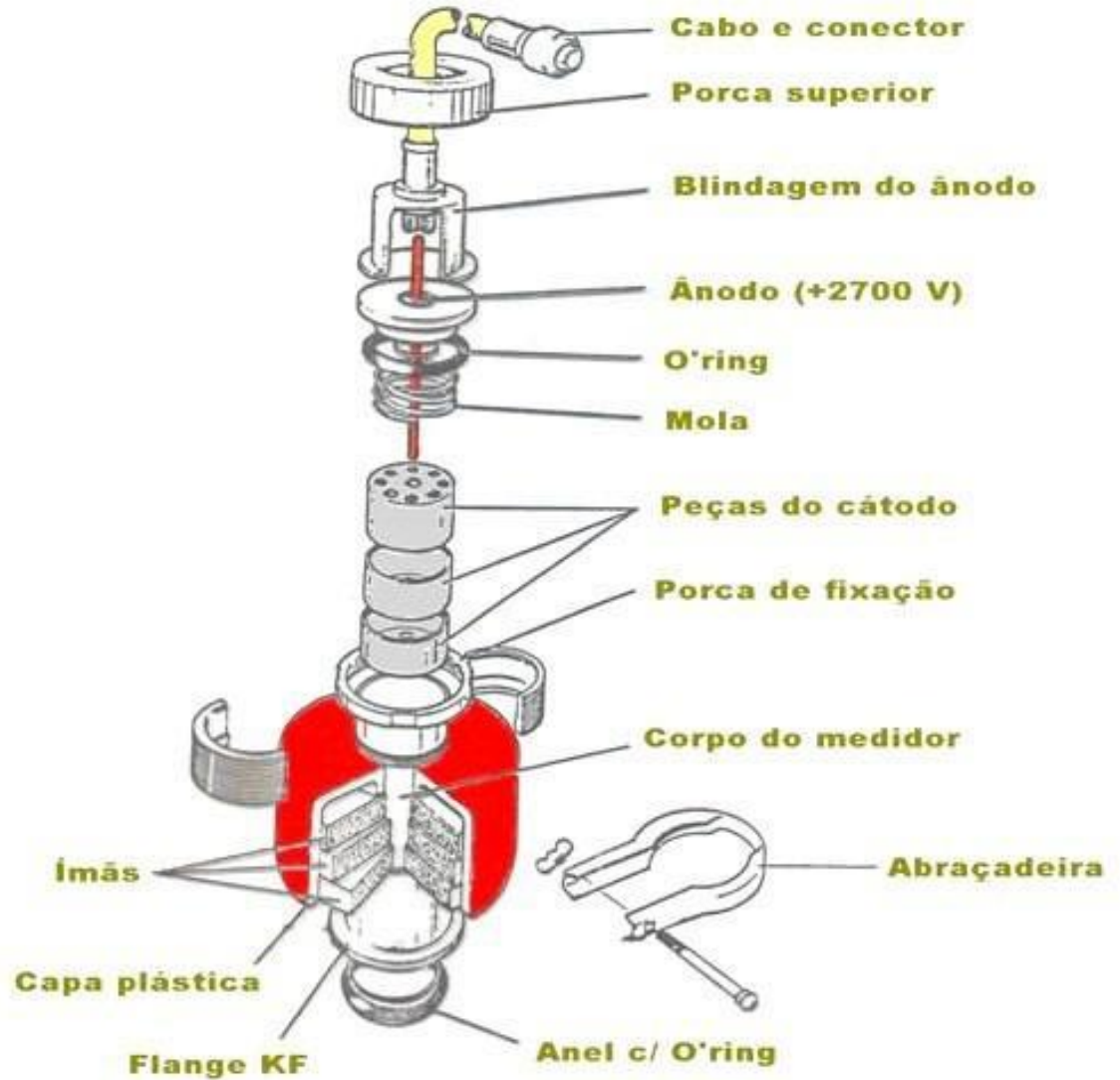
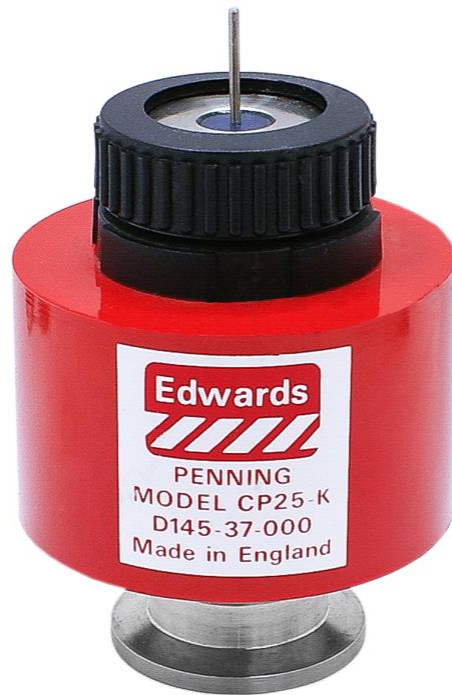


MEDIDORES DE VÁCUO

☐ MEDIDORES DE IONIZAÇÃO

Cátodo Frio

- Penning

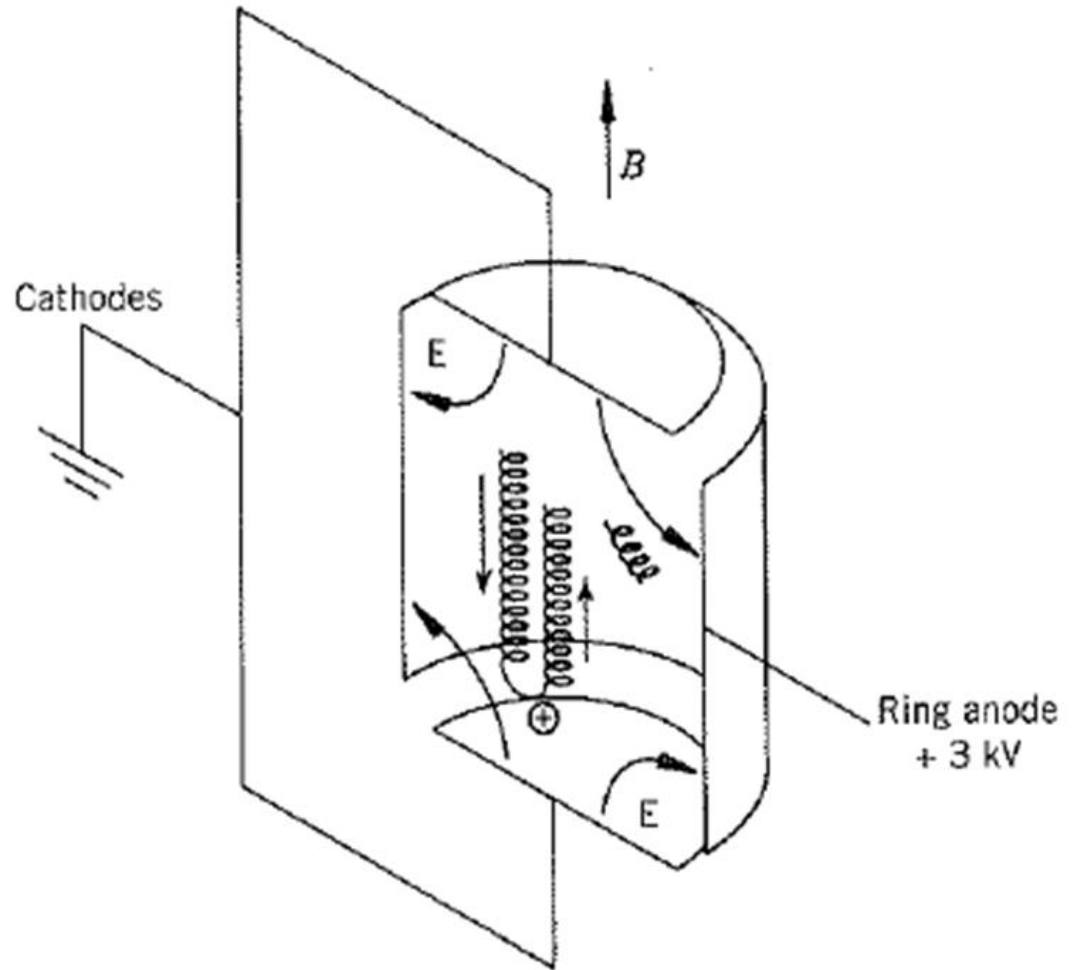
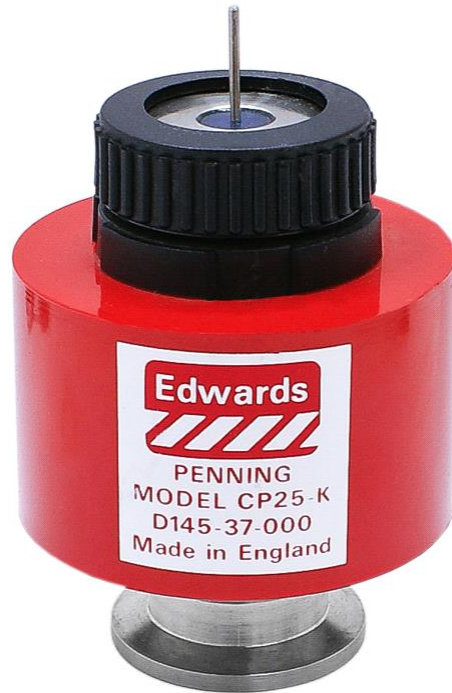


MEDIDORES DE VÁCUO

☐ MEDIDORES DE IONIZAÇÃO

Cátodo Frio

- Penning



EXPERIMENTOS

❑ CICLO 1

Estudos a serem realizados no laboratório

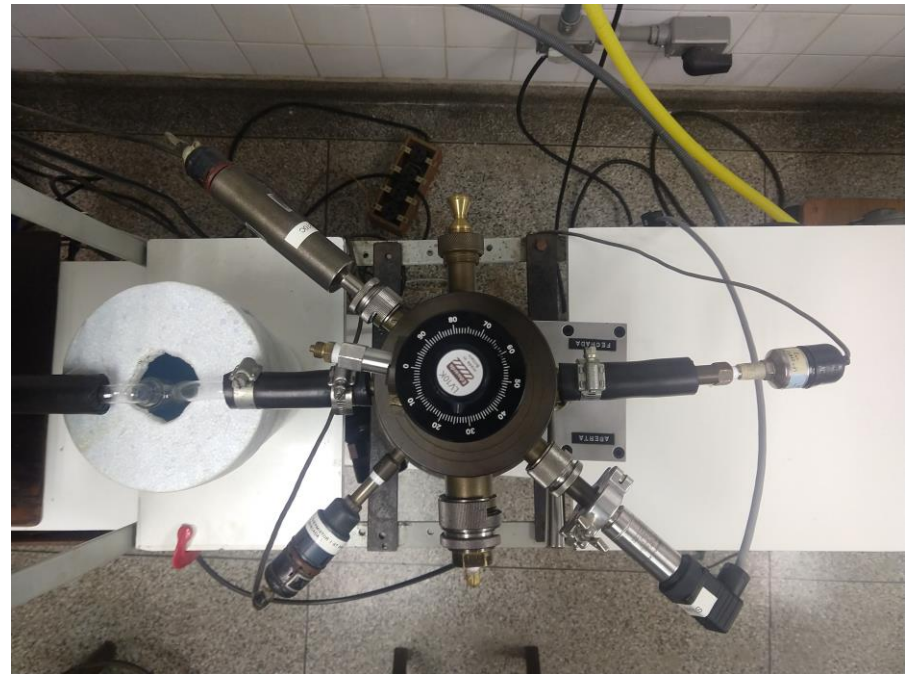
- ✓ Montagem de sistemas de vácuo
- ✓ Verificar as características de todos os medidores de vácuo
- ✓ Calibração com medidor absoluto
- ✓ Estudo das escalas e unidades
- ✓ Utilização de válvulas
- ✓ Armadilhas de LN₂
- ✓ Vedações (*o'rings*) e componentes
- ✓ Resposta dos medidores com gases diferentes: He, Ar, CO₂



EXPERIMENTOS

❑ CICLO 1

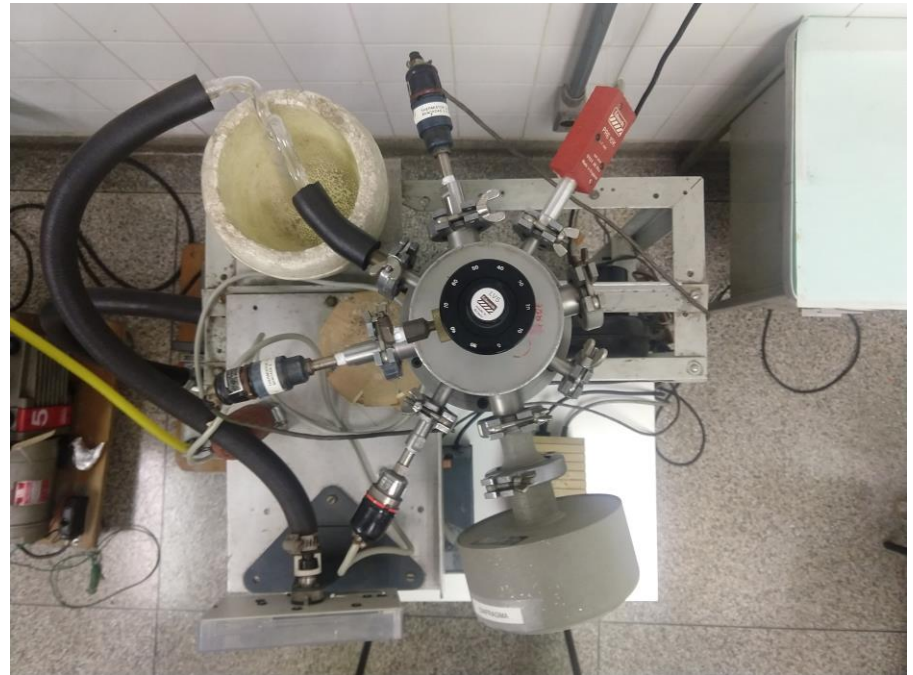
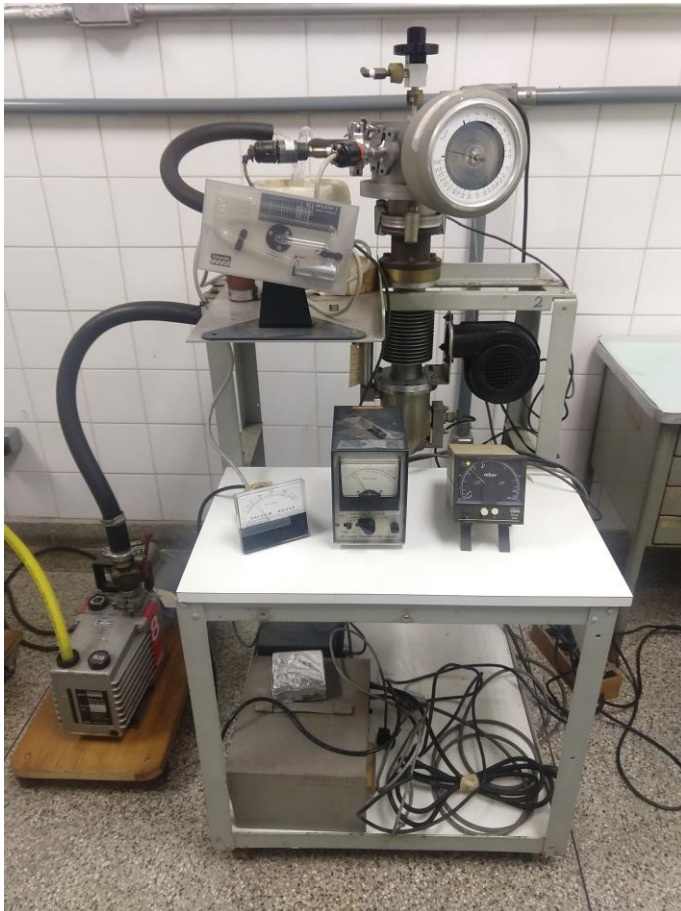
Experimento 1



EXPERIMENTOS

❑ CICLO 1

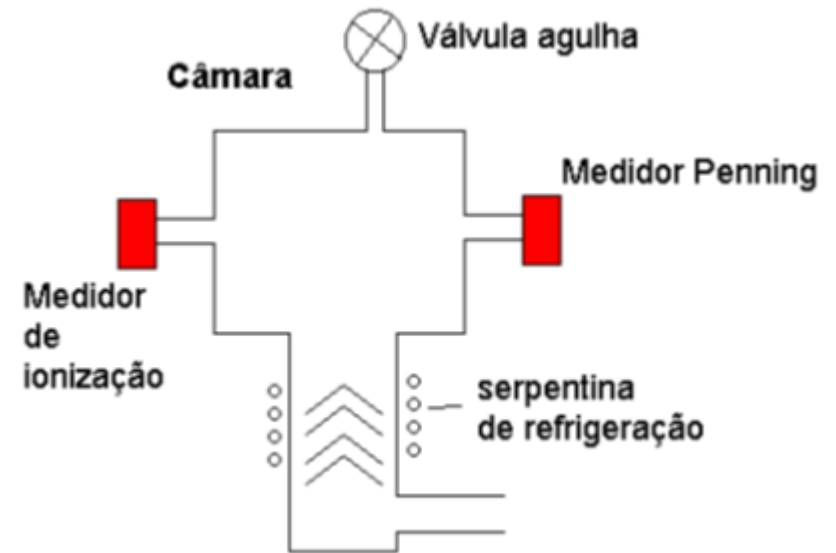
Experimento 2



EXPERIMENTOS

❑ CICLO 1

Experimento 3



EXPERIMENTOS

❑ PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Bancada 1 (Kammerer)

- Identificar todos os componentes do sistema de vácuo
- Fazer a leitura de pressão no medidor absoluto Kammerer
- Fazer a leitura de pressão nos outros medidores:
 - Pirani CVC, Termopar, Thermistor, Wallace & Tiernan, Strain Gauge
- Aumentar gradualmente a pressão através da válvula agulha
- Colocar LN2 e refazer as medidas

Para caracterizar bem todos os medidores é necessário varrer todas as escalas com um número de medidas suficiente para descrever bem seus comportamentos em vários regimes.

EXPERIMENTOS

❑ PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Bancada 2 (Vacustat)

- Identificar todos os componentes do sistema de vácuo
- Fazer a leitura de pressão no medidor absoluto Vacustat
- Fazer a leitura de pressão nos outros medidores:
Pirani, Termopar, Thermistor
- Fazer a medida de tensão com o multímetro
- Aumentar gradualmente a pressão através da válvula agulha
- Gases disponíveis: Ar, He, CO₂

Para caracterizar bem todos os medidores é necessário varrer todas as escalas com um número de medidas suficiente para descrever bem seus comportamentos em vários regimes.

EXPERIMENTOS

❑ PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Bancada 3 (Bayard-Alpert)

- Identificar todos os componentes do sistema de vácuo
- Fazer a leitura de pressão no medidor Bayard-Alpert previamente calibrado
- Fazer a leitura de pressão nos outros medidores:
 - Penning
- Fazer a medida de tensão com o multímetro
- Aumentar gradualmente a pressão através da válvula agulha

Para caracterizar bem todos os medidores é necessário varrer todas as escalas com um número de medidas suficiente para descrever bem seus comportamentos em vários regimes.

RELATÓRIO

☐ SUGESTÕES PARA DISCUSSÃO

1. Qual a influência do vapor de água, óleo e Hg no sistema de vácuo?
2. Qual a influência da armadilha de LN2 no sistema e nos medidores Kammerer e Vacustat?
3. Qual a influência de se usar gases distintos na resposta de cada medidor?
4. Calibração dos medidores de pressão
5. Resposta em tensão dos medidores
6. O que acontece quando se liga a grade do medidor Bayard-Alpert?
7. Importância da refrigeração da bomba difusora
8. *Gas ballast*
9. Existe diferença ao se utilizar a armadilha LN2?
10. Procurar na internet valores atuais dos medidores e bombas de vácuo utilizadas nos experimentos.

**BOAS MEDIDAS
E
BOA SORTE**

