

# Tecnologia do Vácuo

2012

Uma visão geral da disciplina

Prof. Nilberto H. Medina

# Resumo

---

- Resumo Histórico
- Conceitos gerais
- Medindo o vácuo
- Informações gerais

# Conceitos Gerais

---

- Pressão: força exercida por unidade de área.  
Unidades de medidas de pressão.

Unidades: atm, mmHg, torr, bar (dina/cm<sup>2</sup>) e Pa (N/m<sup>2</sup>)

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

$$1 \text{ mmHg} = 1 \text{ Torr}$$

$$1 \text{ bar (dina/cm}^2\text{)} = 100000 \text{ Pa}$$

Pré-vácuo: < 10<sup>-3</sup> Torr

Alto-vácuo: até 10<sup>-7</sup> Torr

Ultra-alto-vácuo: > 10<sup>-8</sup> Torr

# Livre caminho médio

---

$$\lambda = \frac{5 \times 10^{-3} \text{ cm}}{P(\text{Torr})}$$

Pré-vácuo:  $\approx 10^{-3}$  Torr -> 5 cm

Alto-vácuo:  $\approx 10^{-5}$  Torr -> 5 m

Ultra-alto-vácuo:  $\approx 10^{-8}$  Torr -> 5 km

# Tabela de conversão

	<b>bar (dina/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>mbar</b>	<b>Pa (N/m<sup>2</sup>)</b>	<b>atm</b>	<b>torr</b>
<b>bar</b>	1	10 <sup>3</sup>	10 <sup>5</sup>	0,986923	750,062
<b>mbar</b>	10 <sup>-3</sup>	1	10 <sup>2</sup>	0,9869×10 <sup>-3</sup>	0,750062
<b>Pa</b>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-2</sup>	1		0,75×10 <sup>-2</sup>
<b>atm</b>	1,0132	1,0132×10 <sup>3</sup>	1,0132×10 <sup>5</sup>	1	760
<b>torr</b>	1,3332×10 <sup>-3</sup>	1,33322	1,33322×10 <sup>2</sup>	1,3158×10 <sup>-3</sup>	1

# Conceitos Gerais

## ■ Alguns dados a temperatura ambiente

Pressão (Torr)	760	1,0E-03	1,0E-08	1,0E-10	1,0E-12	1,0E-14	1,0E-16
Caminho livre médio	7 $\mu\text{m}$	5 cm	5 km	500 km	$5 \times 10^5$ km	$5 \times 10^6$ km	$5 \times 10^8$ km
Núm. de moléculas colidindo em $\text{cm}^2/\text{s}$	$3,0 \times 10^{23}$	$3,5 \times 10^{17}$	$3,5 \times 10^{12}$	$3,5 \times 10^{10}$	$3,5 \times 10^8$	$3,5 \times 10^6$	$3,5 \times 10^4$

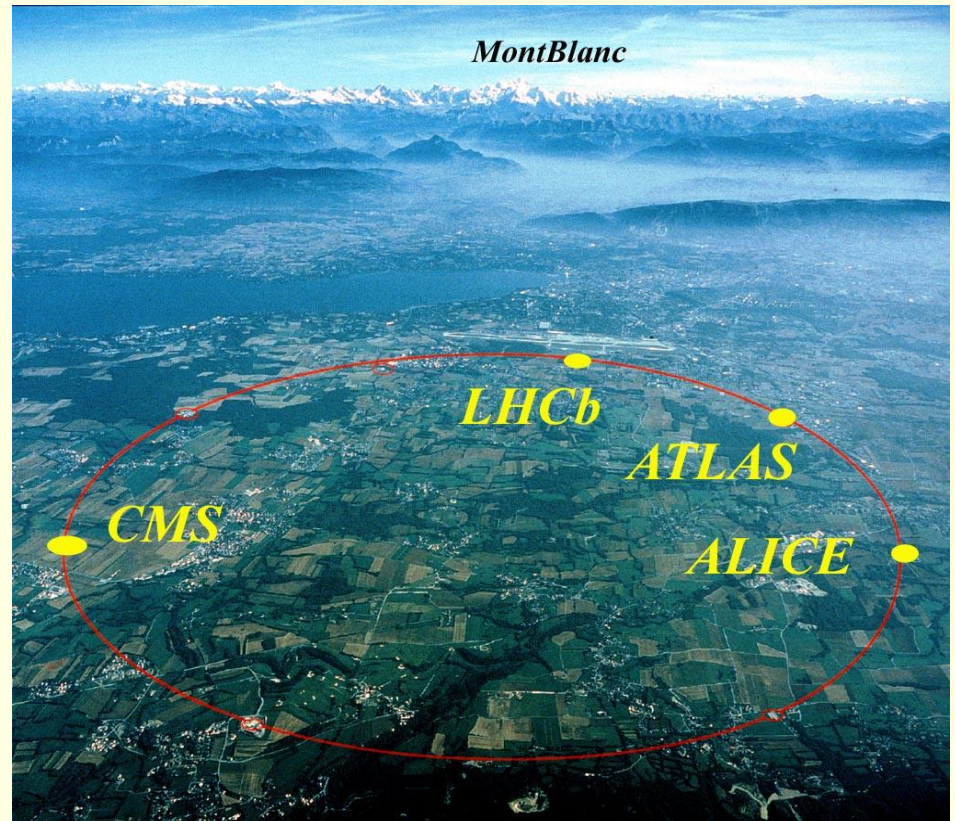
# Conceitos Gerais

## ■ Grandes aceleradores

Ultra alto vácuo

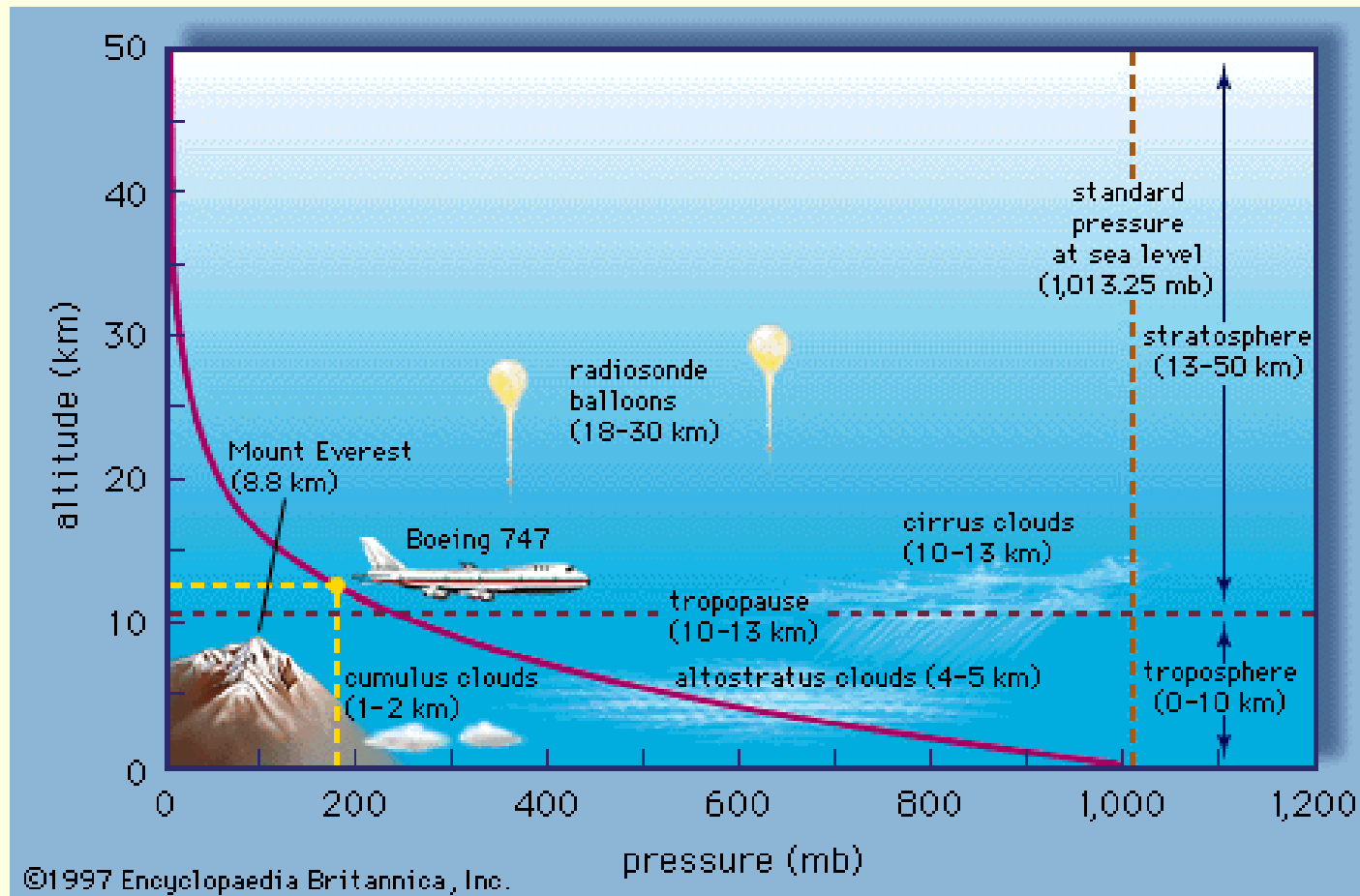
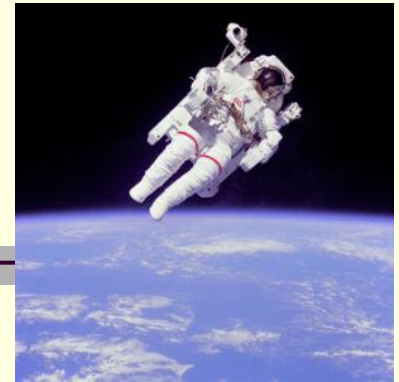
CERN

RHIC



# Conceitos Gerais

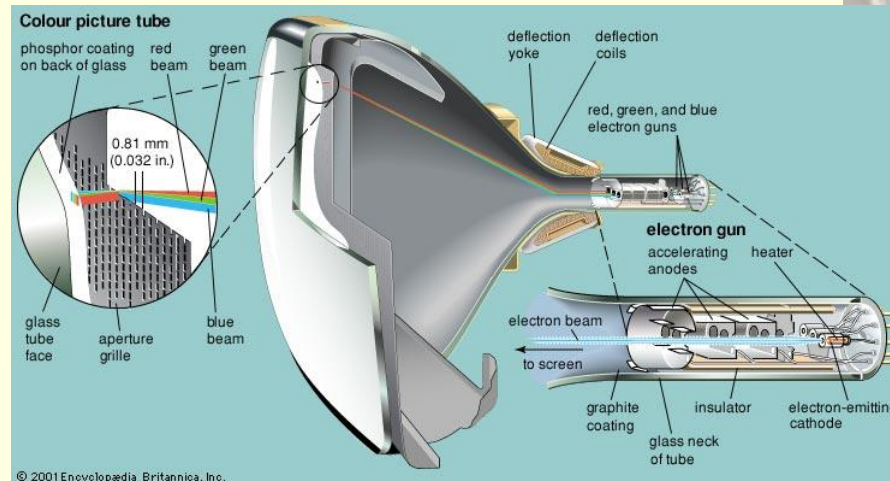
- O vácuo e a ausência de gravidade.





# Aplicações

Physical Situation	Objective	Applications
Low pressure	Achieve pressure difference	Holding, Lifting, Transport, Forming
Low molecular density	Remove active atmospheric constituents	Lamps, Packaging, Leak detection
	Decrease energy transfer	Thermal insulation, Electrical insulation
Large mean free path	Avoid collisions	Electron tubes, cathode ray tubes, television tubes, photomultipliers, Accelerators, Storage rings, ...



# Aplicações

Ciência Básica  
Física Aplicada

Física Nuclear  
Estudos de Plasma

Física Atômica  
Nanotecnologia

Metalurgia a vácuo  
Microeletrônica  
Aeronáutica

Filmes finos  
Cristalografia  
Simulação Espacial

Criogenia  
Têmpera de metais  
Cinescópios

Embalagens  
Fontes de íons  
Microscópios eletrônicos

Espectrômetro de massa  
Aceleradores de partículas  
Secagem de plásticos

Feixes moleculares  
Difração de elétrons  
*Sputtering* de metais

Outros Exemplos:

Produção de lâmpadas e válvulas eletrônicas

Desgaseificação de metais fundidos e líquidos

Soldas por bombardeamento eletrônico

Estudo de superfícies e de novos materiais

Secagem de alimentos e liofilização

# Tecnologia do Vácuo

## 4300323

### Professores:

Nilberto Heder Medina (Teoria e Laboratório)

Laboratório Aberto de Física Nuclear, sala 206

Sala de Aula (laboratório): 111, Ala II - térreo

Sala de Aula (teoria): 208, Ala Central

tel: 3091-6763

**medina@if.usp.br**

Vitor Aguiar (Laboratório)

Ed. Oscar Sala, sala 126

tel: 3091-6961

**vitor\_ap\_aguiar@hotmail.com**

Sala de Aula: 111 Ala II – andar térreo

Laboratório Didático:

<http://web.if.usp.br/tecvac> (apostilas)

Sociedade Brasileira de Vácuo:

<http://www.sbvacu.org.br/>

# Programa da disciplina

---

Introdução à Tecnologia do Vácuo

Teoria Cinética dos Gases

Bombas e Medidores

Escoamento de gases (regimes)

Condutâncias

Variações da pressão

Fontes de gases de um sistema

Vazamentos: Modelos e Detecção

Armadilhas

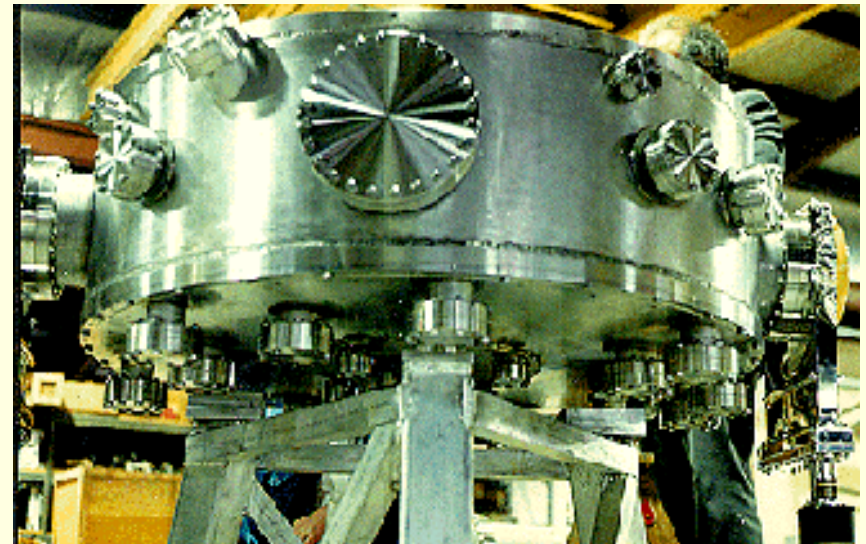
Permeação e desgaseificação

Evaporação

Cálculos de Sistemas de Vácuo e Aplicações

# Sistemas de Vácuo

## Exemplos





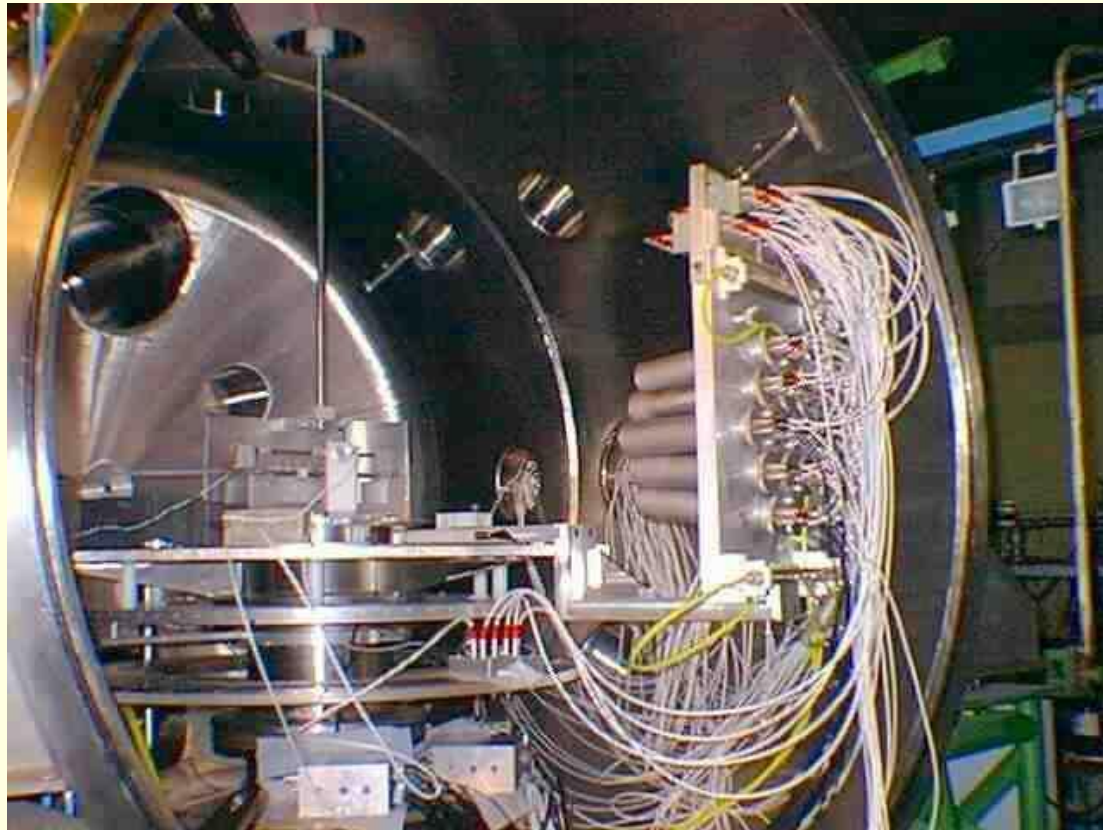
# Canalização 15° do Acelerador Pelletron

---

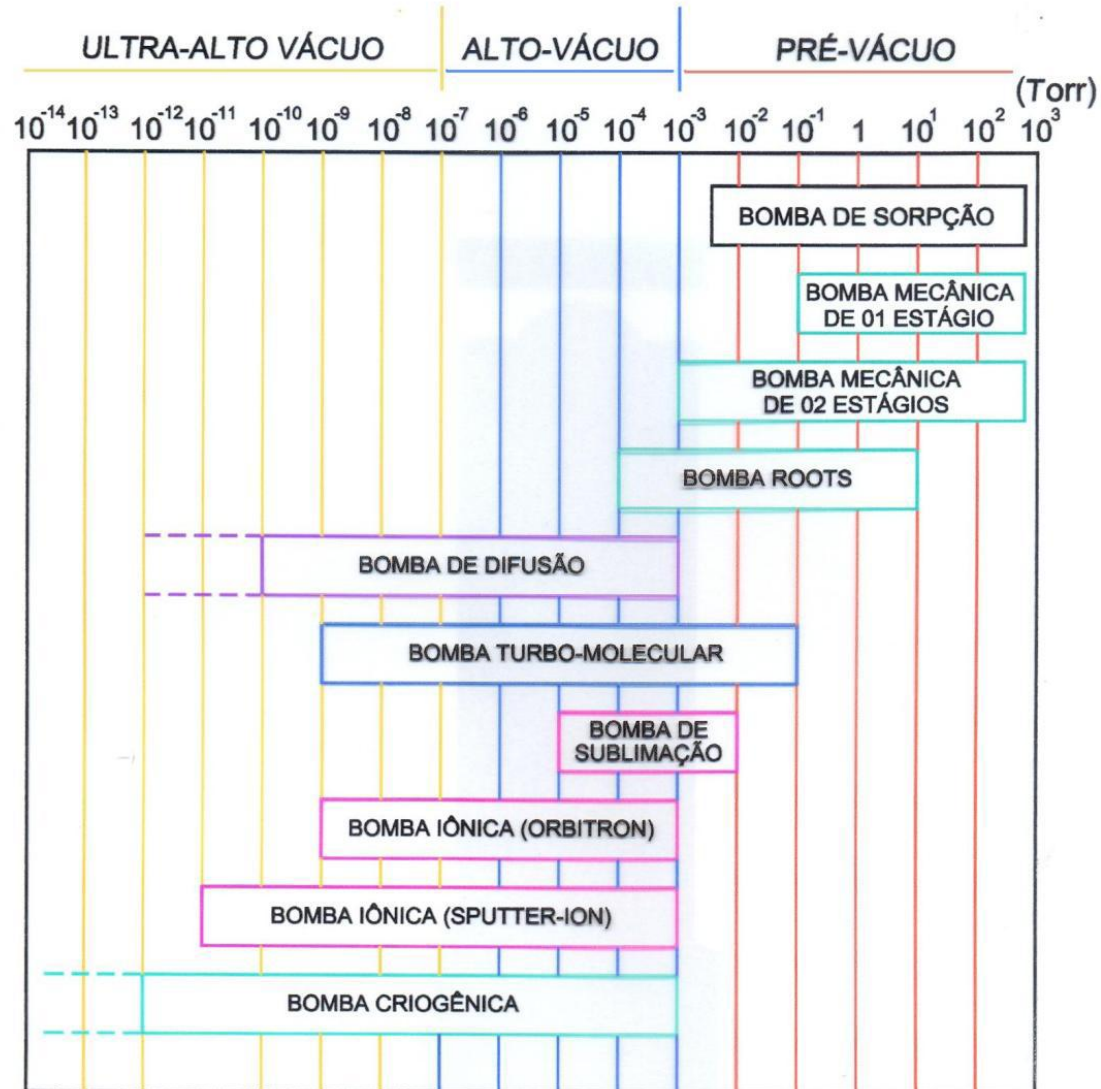


# Interior da Câmara de Espalhamento

---



# Bombas de Vácuo

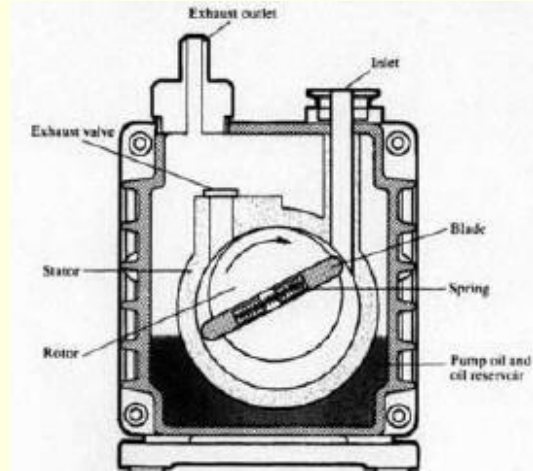




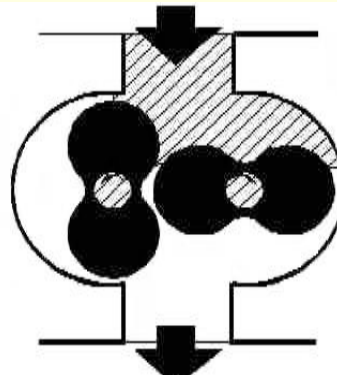
# Pré-vácuo

## Bombas mecânicas

### Bombas rotativas

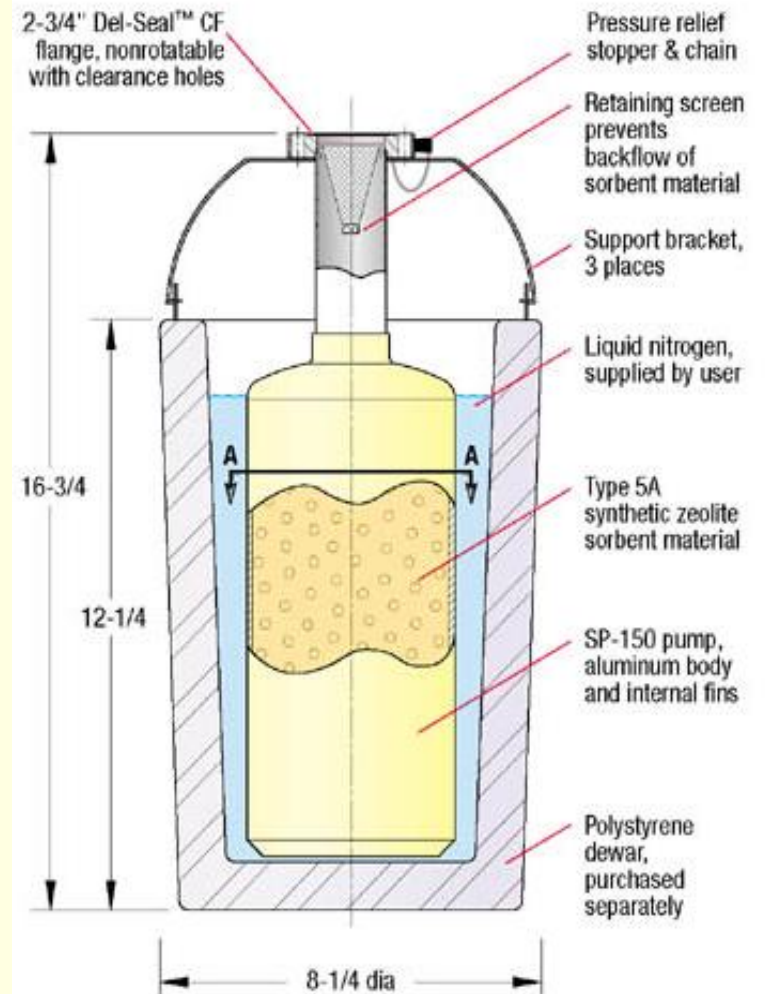


### Bombas roots



# Pré-vácuo

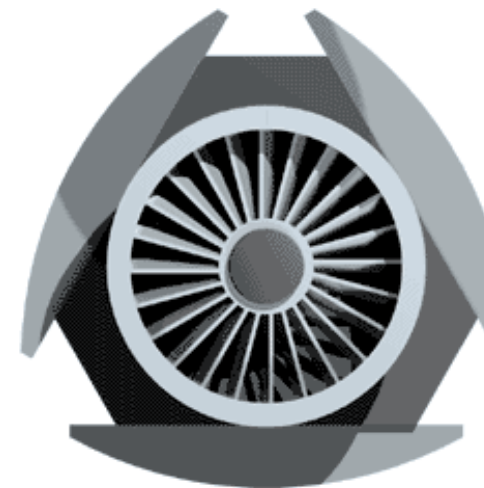
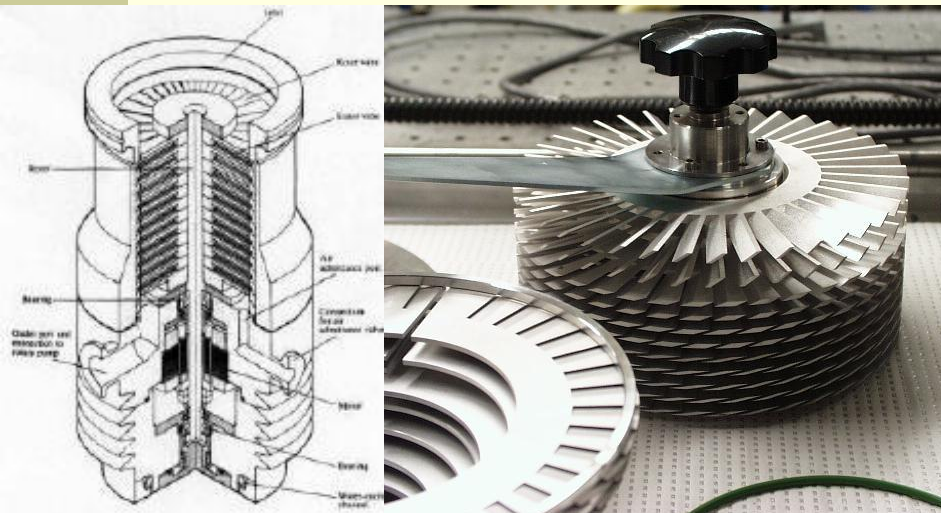
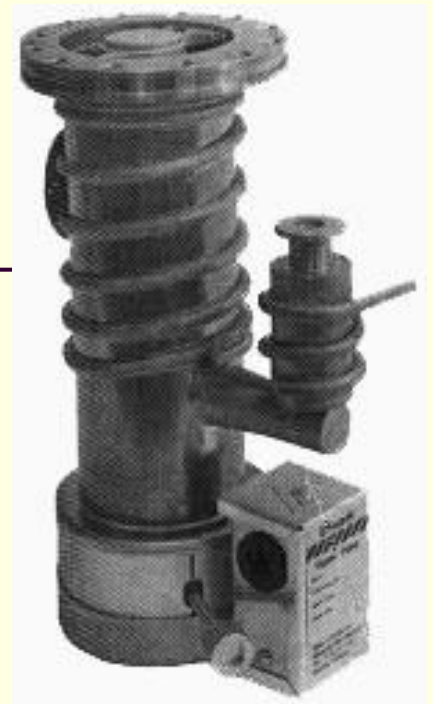
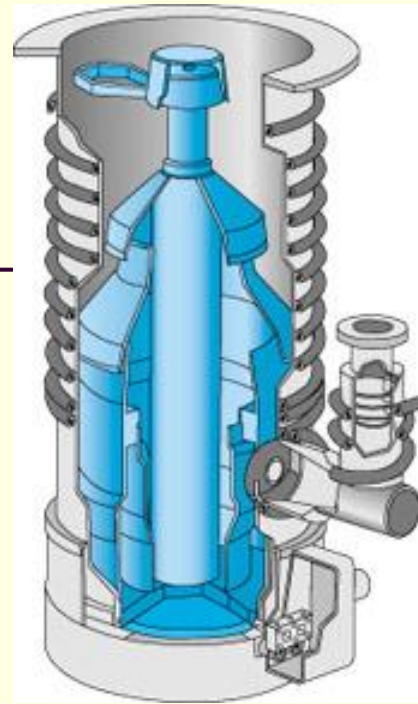
## Bombas de sorção



# Alto-vácuo

Difusora

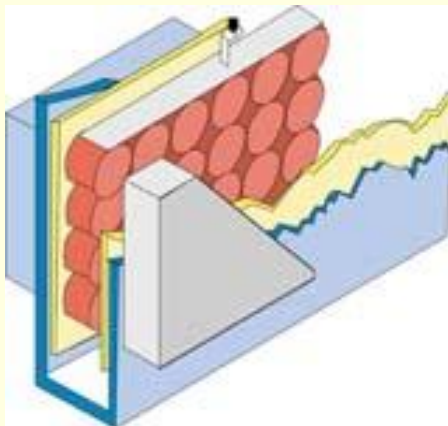
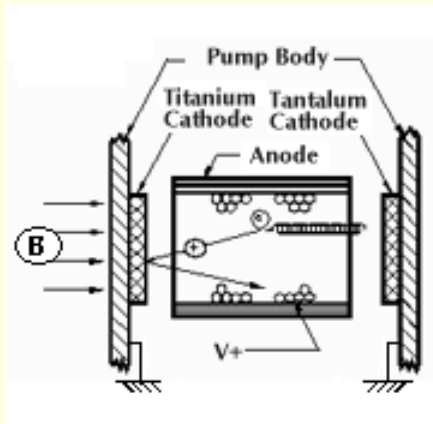
Turbo-molecular





# Alto-vácuo

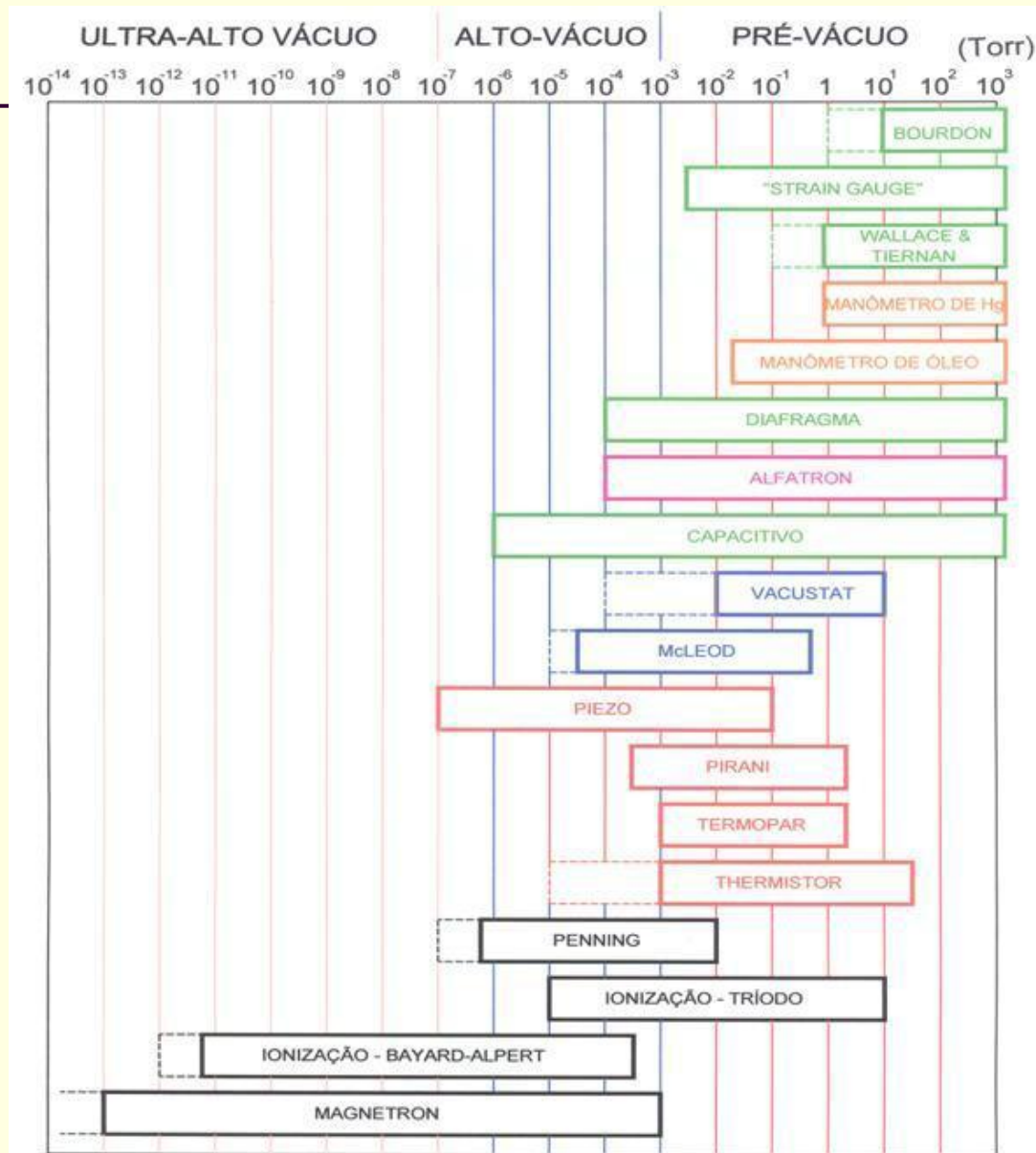
Bomba iônica



Bomba criogênica



# Medidores de Pressão



# Manômetros mecânicos

---

Bourdon

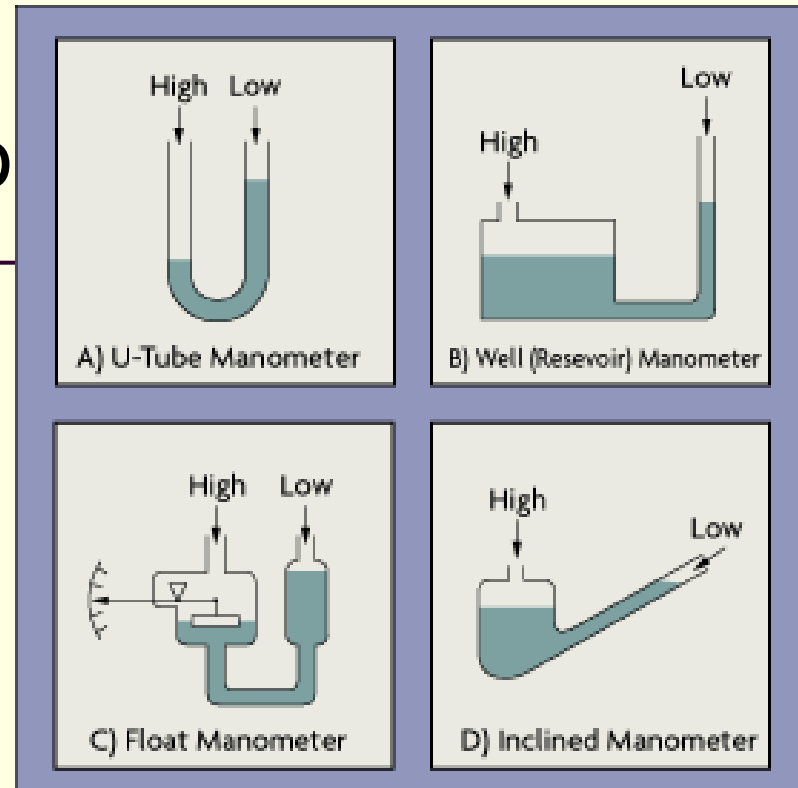


Wallace-Tiernan

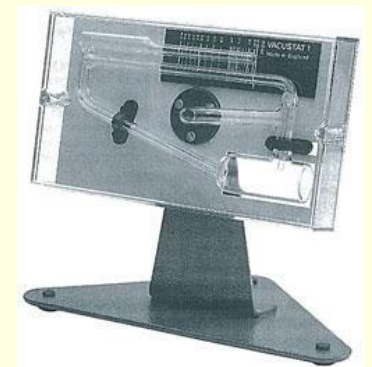


# Manômetros de mercúrio

McLeod

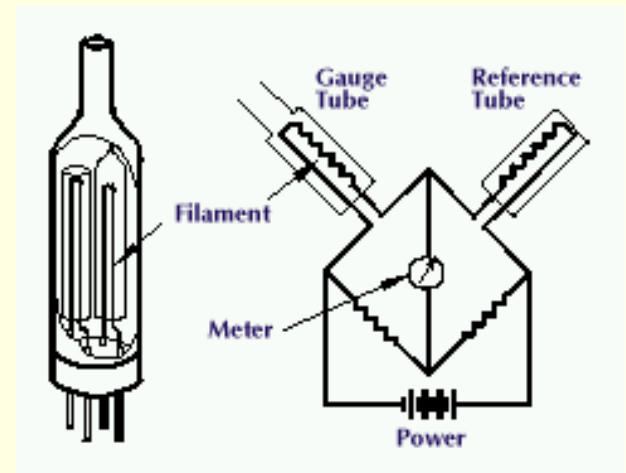
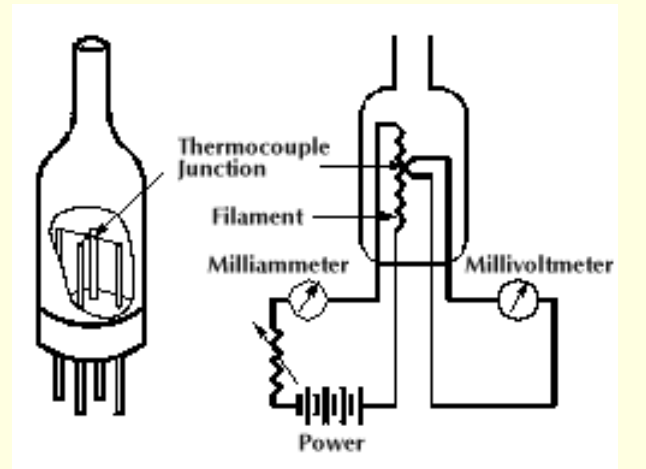


Vacustat



# Manômetros de termo-condutividade

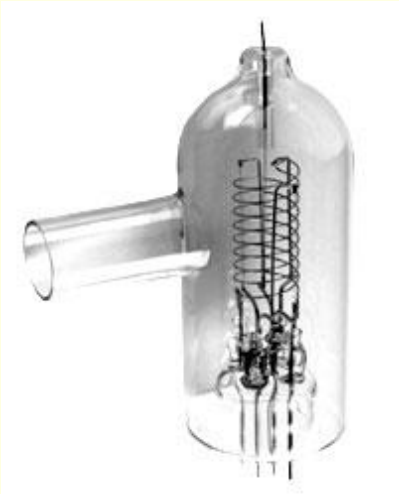
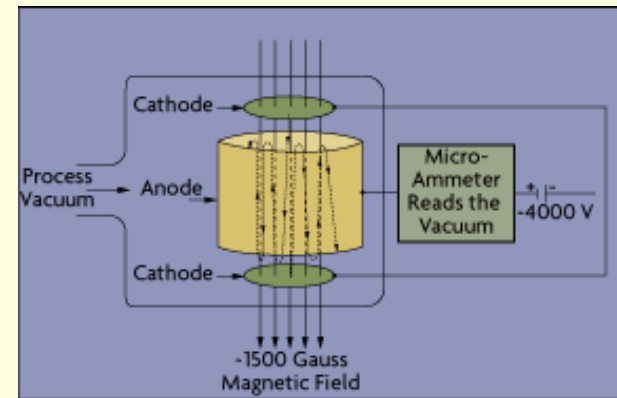
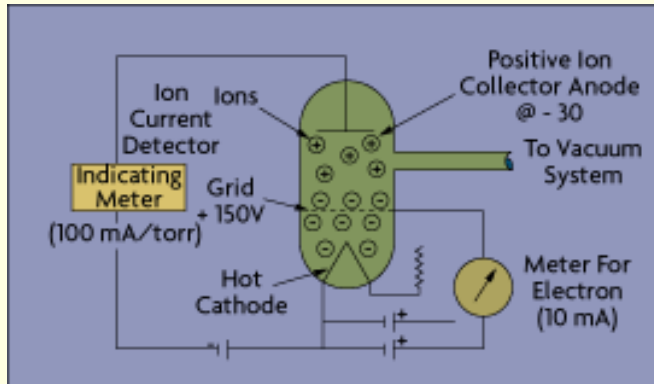
Termopar, Pirani e thermistor



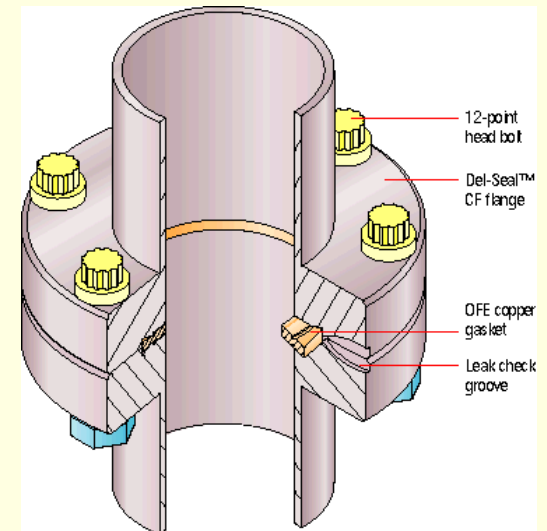
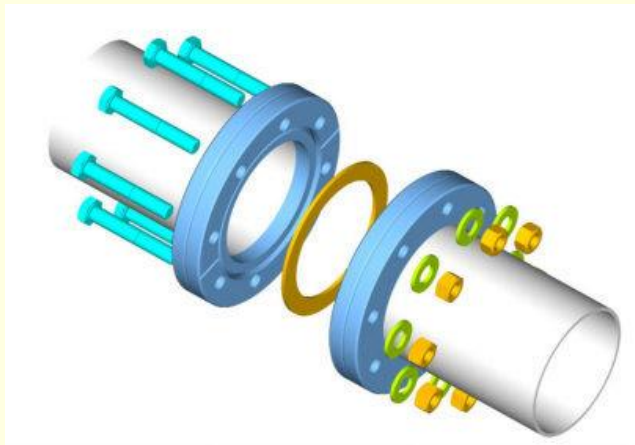


# Manômetros de ionização

Triodo, Bayard-Alpert e Penning

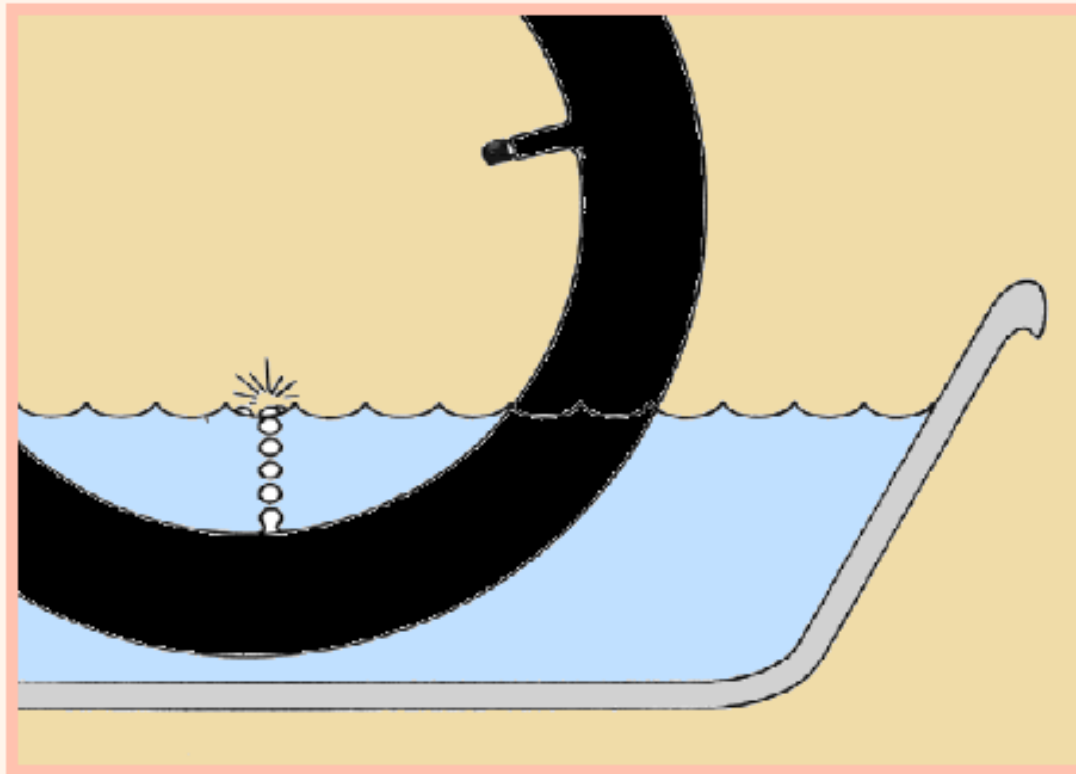


# Selagem com o-rings, gasket ou conflat

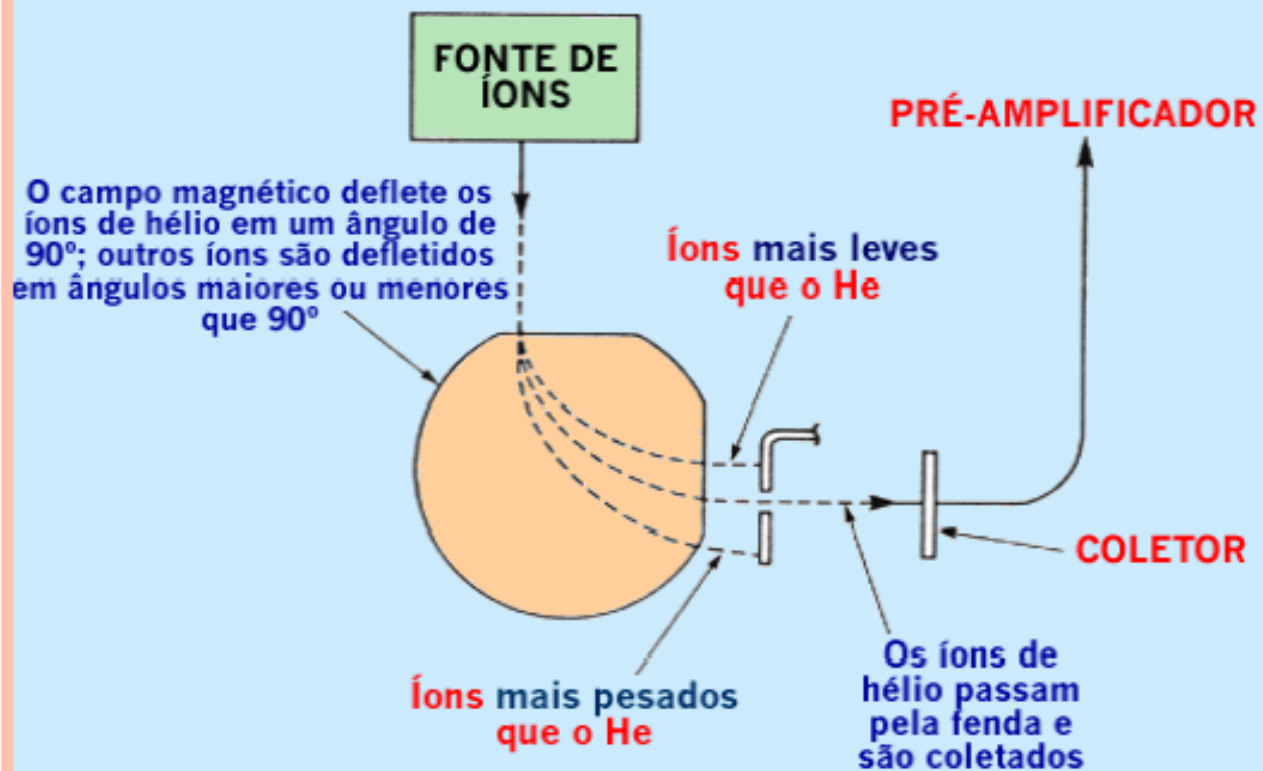


Escolha do material para a construção das câmaras:  
Alumínio, inox, latão, nylon, teflon, cobre, etc.

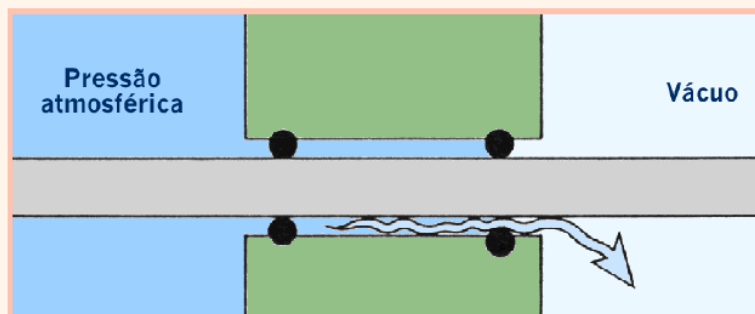
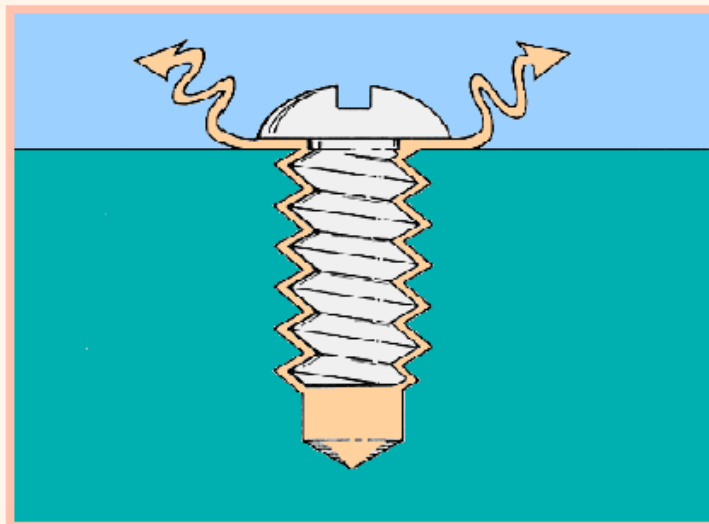
# Detecção de Vazamentos



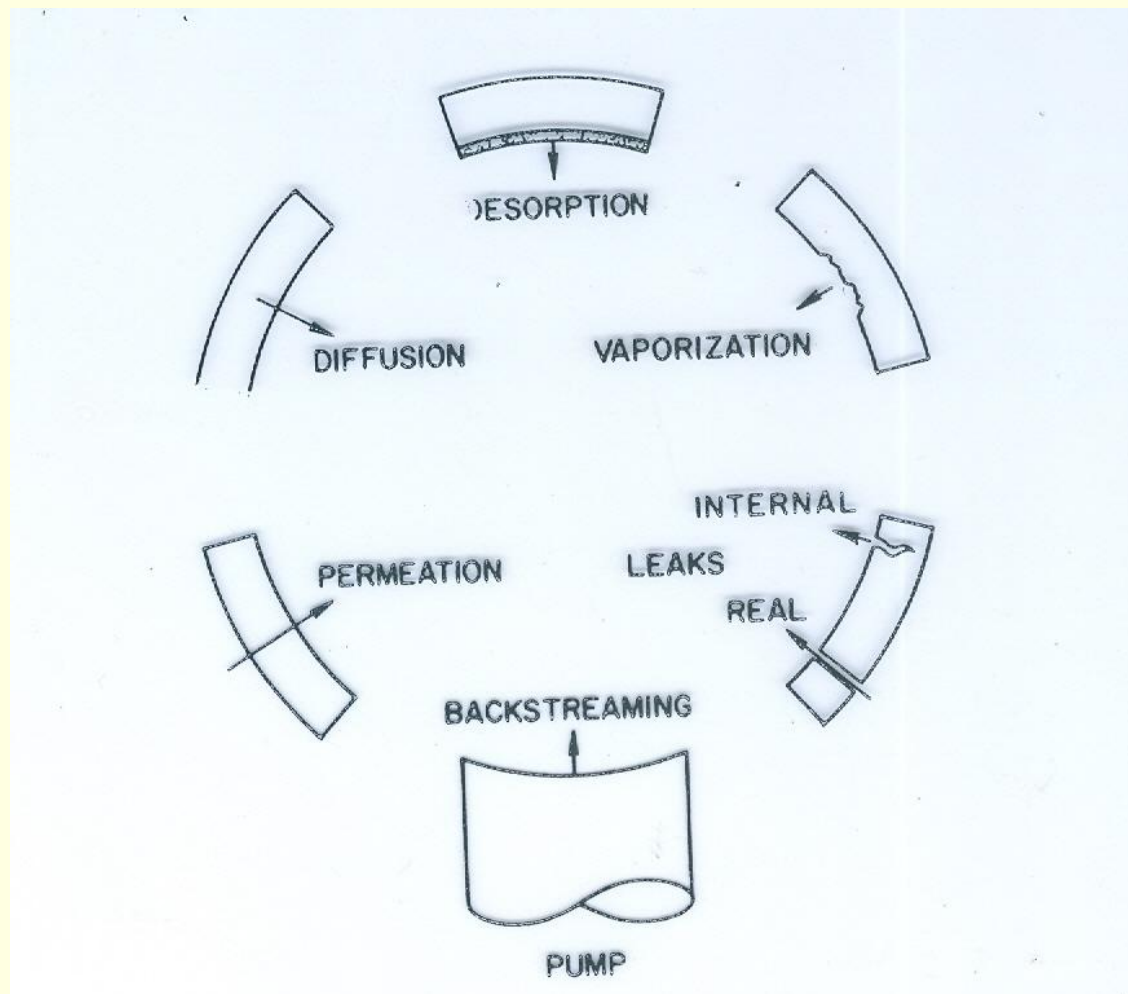
## PRINCÍPIO DA SEPARAÇÃO DE ÍONS POR CAMPO MAGNÉTICO



# Vazamento Virtual



# Principais fontes de gases e vapores em um sistema de vácuo



# Modelos de Fontes de gases

Fonte de gás	Característica	Comentário
Volume	$P = P_o e^{\frac{-S}{v}t}$	Pressão cai exponencialmente dependendo de S e V
Vazamento Real	$P_{res} = \frac{Q_{Vr}}{S}; Q_{Vr} \approx C_{Vr} P_{atm}$	Fluxo constante. Utilizar detector de vazamentos. Deve ser eliminado
Vazamento Virtual	$Q_{vv} = C_v P_o' e^{\frac{-C_v}{V_c}t}$	$C_v \ll S_b$ Queda da pressão depende de $C_v$ e $V_c$ . Evitar no projeto
Difusão	$Q(t) = c_o \frac{\sqrt{D}}{\sqrt{\pi t}}$	Q(t) é proporcional a $\frac{1}{\sqrt{t}}$
Permeação	$Q = \frac{K(P_e^n - P_i^n)}{d}$	N=1 para não metais; n=1/2 para moléculas diatômicas em metais. Constante de permeação K(T) é proporcional a $10^3/T$
Evaporação	$W = 0.058 P_v \sqrt{\frac{M}{T}} \frac{g}{cm^2 s}$ $Q = WA \text{ (g/s)}$ $Q = \frac{\Delta N}{\Delta t} kT \frac{\text{Torrl}}{s}$	Crescimento de $P_v$ em função da temperatura é exponencial e por isso mais rápido do que $\frac{1}{\sqrt{T}}$
Desorção Térmica (desgaseificação)	Primeira ordem: $\frac{dc}{dt} = c_o k_1 e^{-\frac{t}{\tau_{res}}}$ $\frac{1}{k_1} = \tau_{res} = \tau_o e^{\frac{E_d}{N_s kT}}$	Rápido $\tau_{res} = 10^{-12} s$
Temperatura (cozimento)	Segunda ordem: $\frac{dc}{dt} = \frac{-k_2 C_o^2}{(1 + C_o K_2 t)^2}$	Cai lentamente A molécula de $H_{2s}$ se dissocia na adsorção e recombina na desorção
Superfícies Reais	$q_n = \frac{q}{t^\alpha}$ $0.7 \leq \alpha \leq 2$	Fórmula geral $q_n = qt^{-1}$ Adsorção química Adsorção física

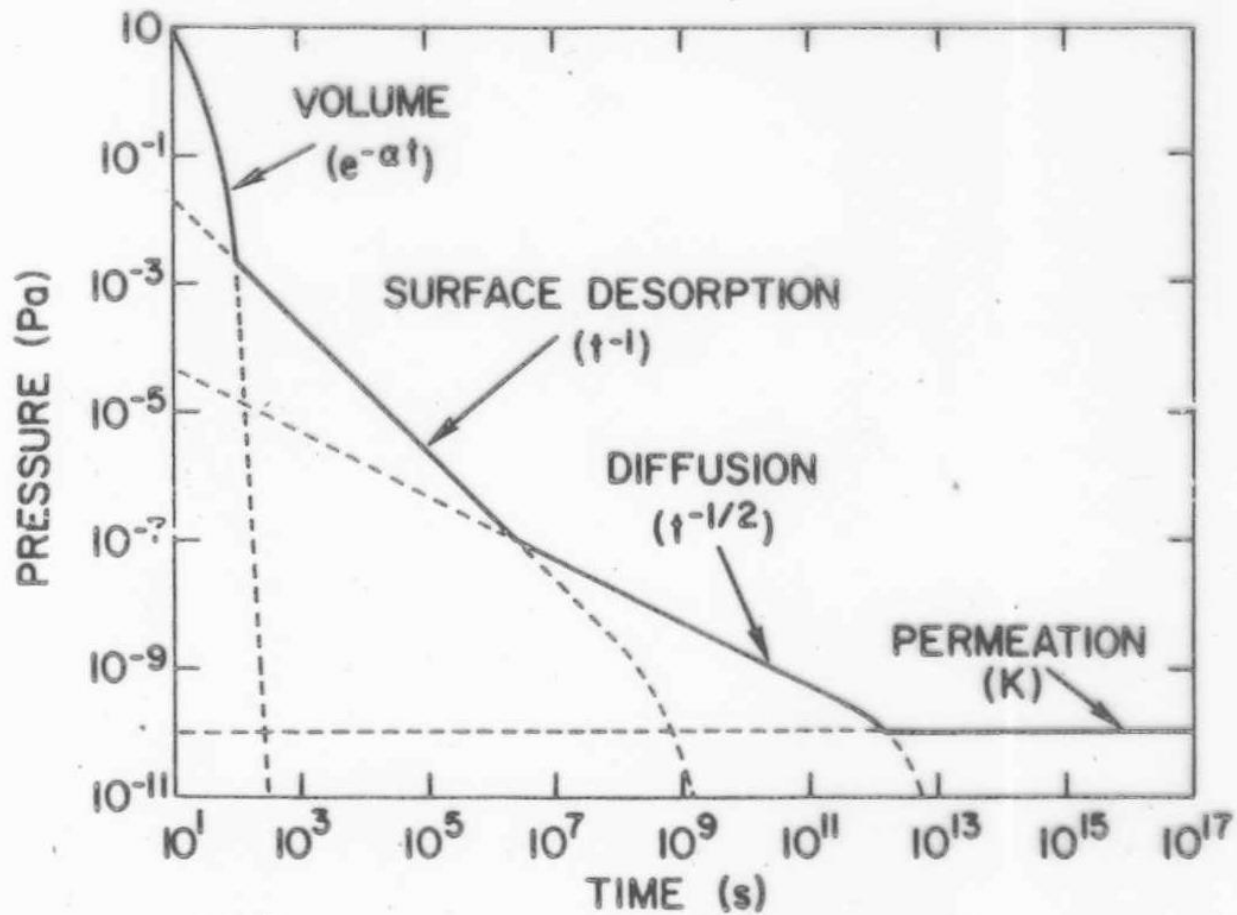


Fig. 4.6 Rate limiting steps during the pumping of a vacuum chamber.



# Bibliografia

---

- G. Lewin – Fundamentals of Vacuum Science and Tecnology – McGraw-Hill, 1965
- J.F. O’Hanlon – A User’s Guide to Vacuum Technology, John Wiley & Sons, 2003
- S. Dushman & J. M. Lafferty – Scientific Foundations of Vacuum Techniques - John Wiley & Sons – 1966
- M.H. Hablanian, High-Vacuum Technology, A Practical Guide, CRC Press 1997.
- A. Guthrie – Vacuum Technology – John Wiley & Sons – 1965
- A. Roth – Vacuum Technology – North-Holland - 1990
- N.S. Harris – Modern Vacuum Practice – McGraw-Hill, 1989

## AVALIAÇÃO

Teoria: Serão realizadas duas Provas Gerais (P) e mais uma Substitutiva. A prova substitutiva é uma prova optativa, única, versando sobre toda a matéria do semestre. Sua nota pode substituir a P1 ou P2. Não haverá prova individual, em separado, por qualquer motivo.

**Laboratório:** Serão cobrados 3 relatórios referentes às 8 atividades experimentais.

Não se aceitam relatórios fora do prazo de entrega estipulado.

## REGIME DE APROVAÇÃO

Será aprovado o aluno que obtiver uma Média Final (MF) maior ou igual a 5 (cinco), calculada da seguinte forma:

$M_p = (P_1 + P_2) / 2$                       média das provas.

$M_R = (2R_1 + 2R_2 + R_3) / 5$                       média dos relatórios.

R1 = Relatório I (peso 2,0);

R2 = Relatório II (peso 3,0);

R3 = Relatório III (peso 1,0)

É obrigatória a entrega dos 3 relatórios dentro dos prazos estabelecidos.

Cálculo da média final:  $M_f = (M_p + M_R) / 2$ , onde  $M_p$  é a média das provas e  $M_R$  a média dos relatórios.

Se  $M_f \geq 5,0$  o estudante está **APROVADO**



Se  $3 \leq M_p < 5$  ou  $3 \leq M_R < 5$  a média final será a menor das duas notas e o estudante deverá fazer a segunda avaliação, que consiste em uma entrevista (se  $3 \leq M_R < 5$ ) ou uma prova escrita (se  $3 \leq M_p < 5$ ). Neste caso a nota da segunda avaliação será dada por:  $N_f = ((M_f + 2R) / 3)$

Se  $M_p < 3$  ou  $M_R < 3$  o estudante estará **reprovado**.



# Calendário

## **CALENDÁRIO DE PROVAS E FERIADOS**

03 a 07/09 semana da pátria – não haverá aulas

12/10 – Dia da padroeira do Brasil – não haverá aulas

02/11 – Finados – não haverá aulas

15/11 – Proclamação da República – não haverá aulas

16/11 – Recesso escolar – não haverá aulas.

## **Data das Provas**

02/10 - 1a Prova, P1, terça-feira

23/11 - 2a Prova, P2, sexta-feira

-07/12 - Prova Substitutiva, PS, sexta-feria

**-Local das Provas: Sala 208 – Ala Central**

## **Data de Entrega dos Relatórios até às 12h00min**

Relatório 1 - 10/09

Relatório 2 - 15/10

Relatório 3 - 12/11

## Seminários

---

14/08 – Medidores de pressão

28/08 – Bombas de vácuo I

25/09 – Bombas de vácuo II

16/10 – Materiais e componentes.

Local: Sala de seminários do LINAC

Horário 19:10 às 20:50

Palestrante: Prof. Luiz Marcos Fagundes

# Cronograma do Laboratório

DATA	ATIVIDADE
03/08	Aula Introdutória do laboratório
06/08	1º Ciclo de Experimentos – aula 1/3
13/08	1º Ciclo de Experimentos – aula 2/3
27/08	1º Ciclo de Experimentos – aula 3/3
10/09	ENTREGA DO RELATÓRIO 1
10/09	2º Ciclo de Experimentos – aula 1/3
17/09	2º Ciclo de Experimentos – aula 2/3
08/10	2º Ciclo de Experimentos – aula 3/3
22/10	ENTREGA DO RELATÓRIO 2
22/10	Laboratório de Filmes Finos do Acelerador Pelletron
29/11	Aula de Componentes, Materiais e Vazamentos
12/11	ENTREGA DO RELATÓRIO 3