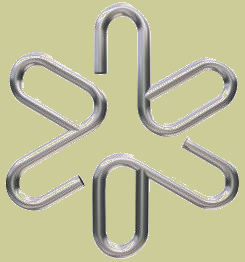


Ciência e Tecnologia do Vácuo



2020



Uma visão geral da disciplina

Prof. Nilberto H. Medina

Resumo

- Resumo Histórico
- Conceitos gerais
- Sistemas de Vácuo
- Informações gerais

Resumo Histórico

- O que é VÁCUO?
 - no dicionário: *um lugar onde não contém nada; espaço imaginário ou real não ocupado por coisa alguma*
 - no cotidiano: “presença” do nada.

É possível criar um espaço de ausência total de matéria? Existe o vazio absoluto?

Resp.: Não, aparentemente.

Definição dada pela American Vacuum Society:

É um dado espaço preenchido com gás a uma pressão abaixo da atmosférica ($< 2,5 \times 10^{19}$ moléculas/cm³).

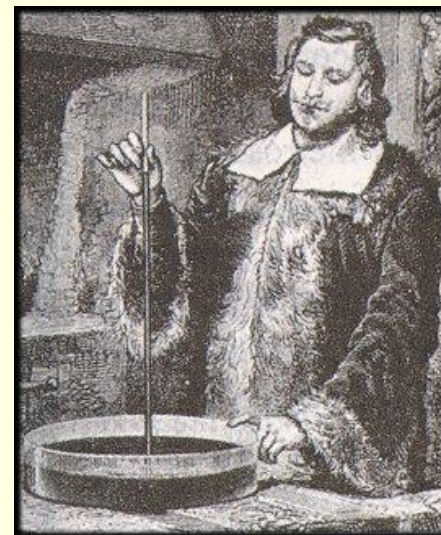
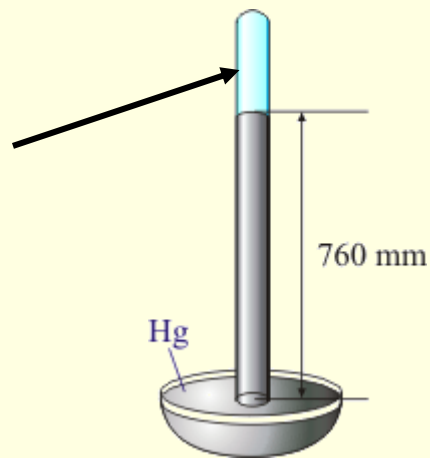
Resumo Histórico

- Na Grécia antiga, filósofos debatiam sobre a existência do vazio absoluto.
- “A natureza tem horror ao vácuo...”

Aristóteles (384 – 322 a.C.)

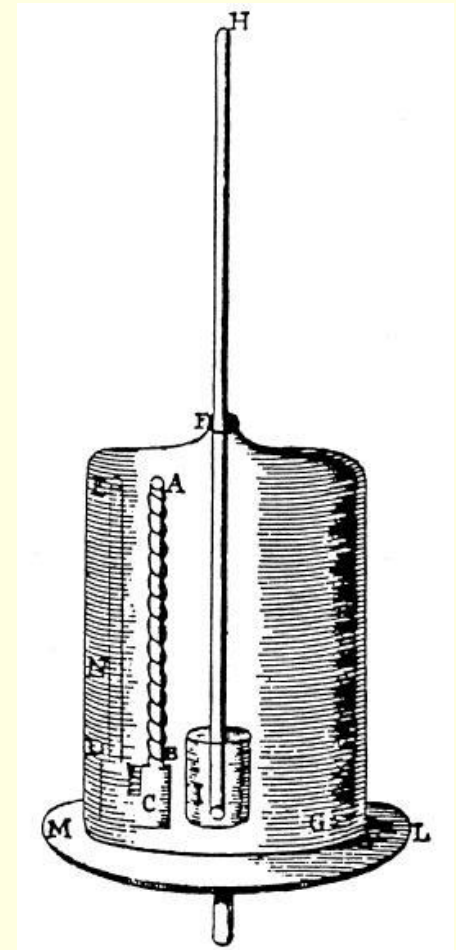
- Século 17 – Galileo Galilei, Torricelli e o barômetro de tubo fechado.

1º vácuo
produzido
(1643 ?)



Resumo Histórico

- 1660 – Primeira notícia da medida de um sistema em baixa pressão (~ 6 Torr) – Boyle
- Vácuo torna-se interesse do grande público. Desenvolvimento para o entretenimento.



Resumo Histórico

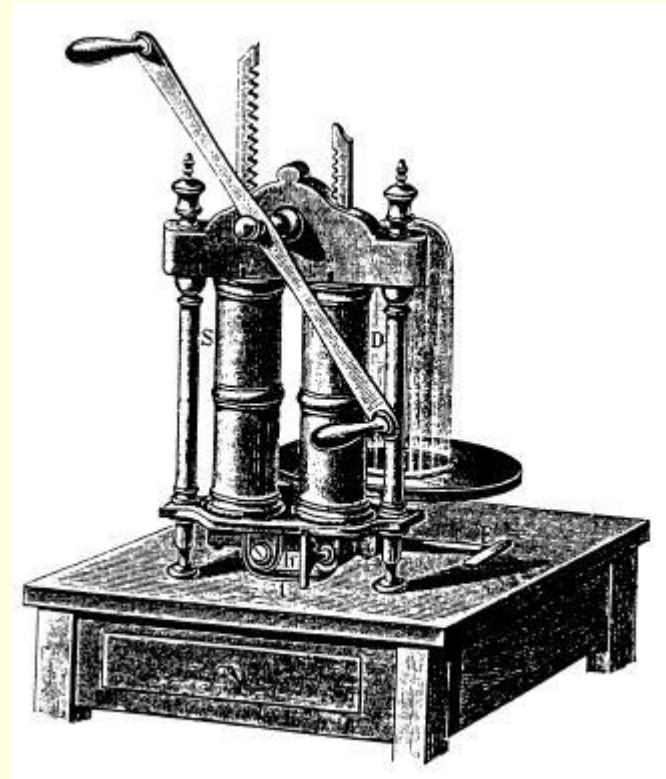


Joseph Wright's painting (1768) of a popular after-dinner demonstration of the effects of vacuum on a small animal. The effects of the lack of atmosphere on a cockatoo is being observed and air was then admitted just in time (in most cases) to save the creature's life.



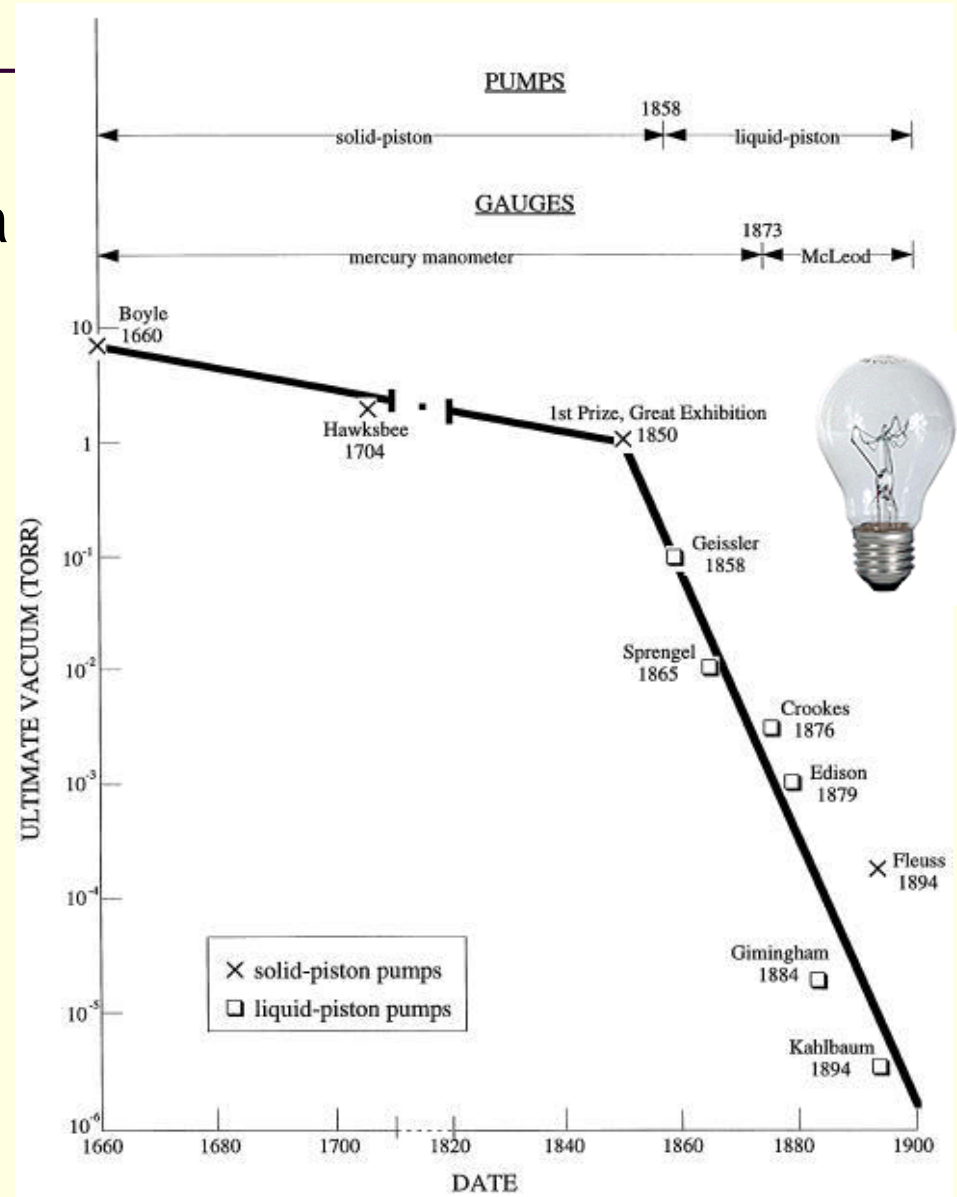
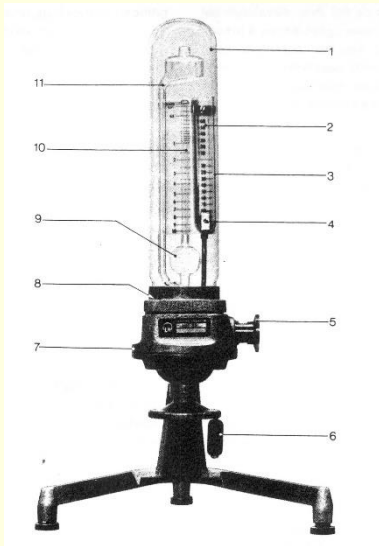
Resumo Histórico

- Maiores esforços concentravam-se no desenvolvimento das bombas de vácuo
- 1850 – Bombas de pistão duplo começam a ser comercializados.
- Emprego da tecnologia de vácuo na indústria



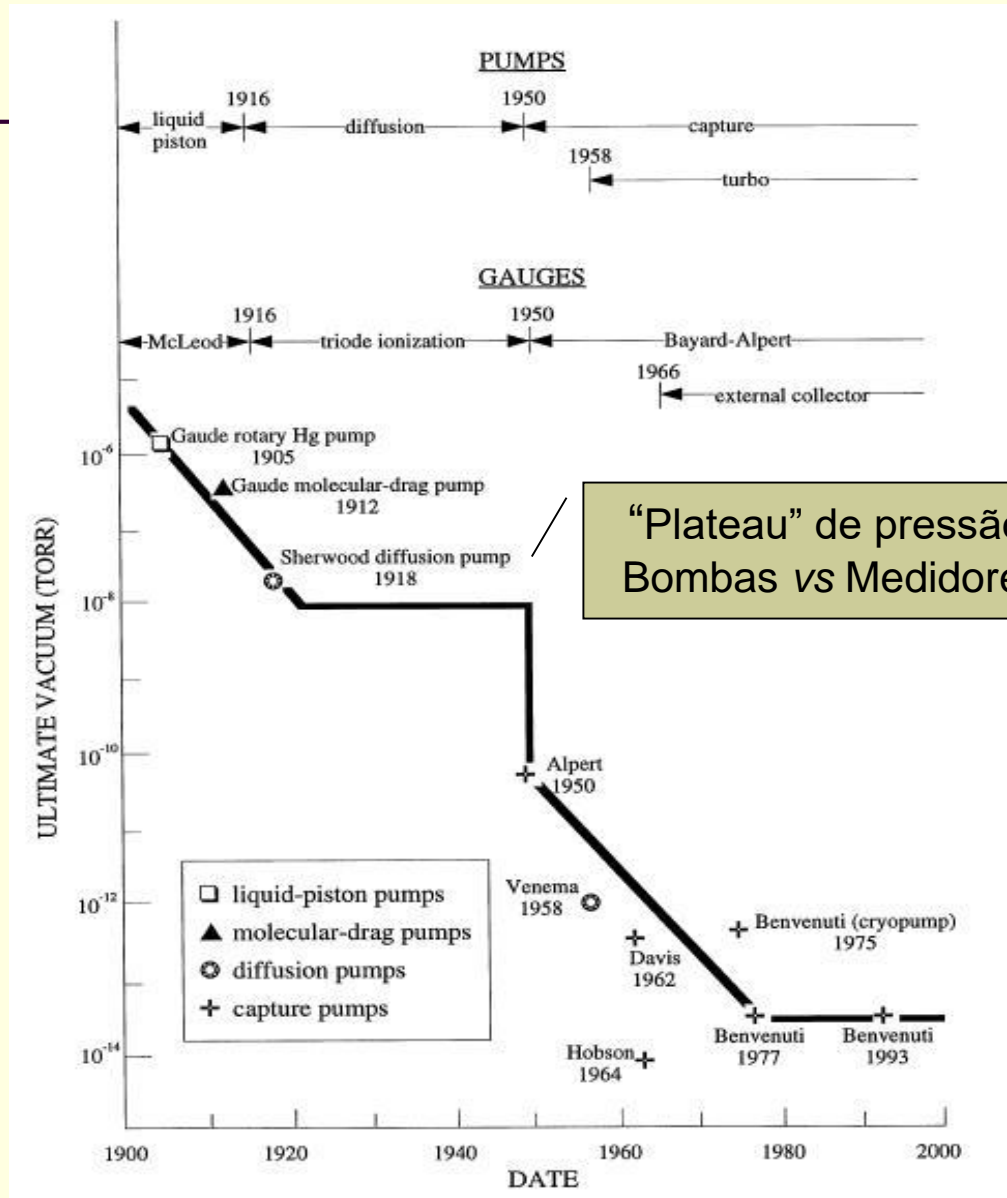
Resumo Histórico

- Panorama da evolução da tecnologia de vácuo até 1900



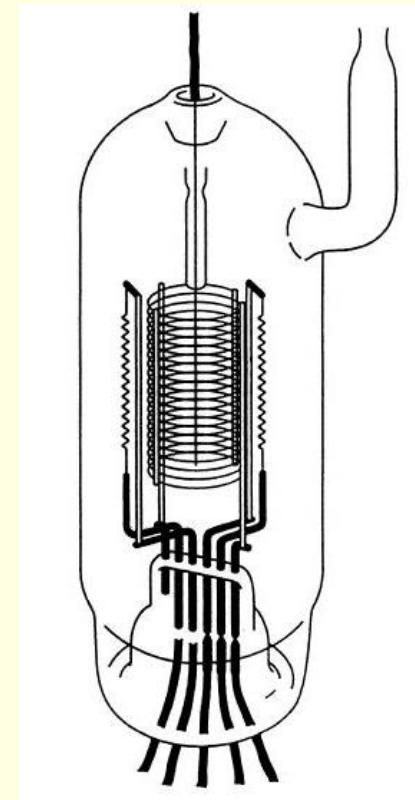
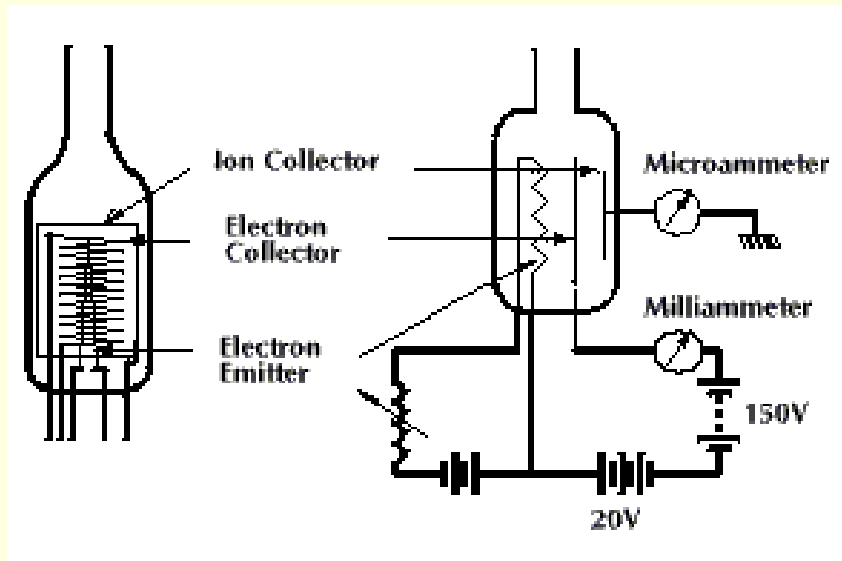
Resumo Histórico

- Evolução da tecnologia de vácuo 1900-2000
- Desenvolvimento constante
- Era dos grandes aceleradores



Resumo Histórico

- 1950 – Trípodo de ionização e o manômetro Bayard-Alpert



Limitação inferior na medida de pressão (10^{-8} Torr)

Conceitos Gerais

- Pressão: **força exercida por unidade de área.**

Unidades de medidas de pressão.

Unidades: atm, mmHg, torr, bar (dina/cm²) e Pa (N/m²)

1 atm = 760 mmHg

1 mmHg = 1 Torr

1 bar (dina/cm²) = 100000 Pa

Pré-vácuo: > 10⁻³ Torr

Alto-vácuo: até 10⁻⁷ Torr

Ultra-alto-vácuo: < 10⁻⁸ 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

	bar	mbar	Pa (N/m²)	atm	torr
bar	1	10 ³	10 ⁵	0,986923	750,062
mbar	10 ⁻³	1	10 ²	0,9869×10 ⁻³	0,750062
Pa	10 ⁻⁵	10 ⁻²	1	0,9869×10 ⁻⁵	0,75×10 ⁻²
atm	1,0132	1,0132×10 ³	1,0132×10 ⁵	1	760
torr	1,3332×10 ⁻³	1,33322	1,33322×10 ²	1,3158×10 ⁻³	1

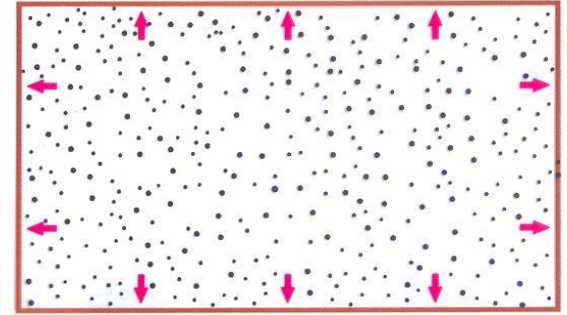
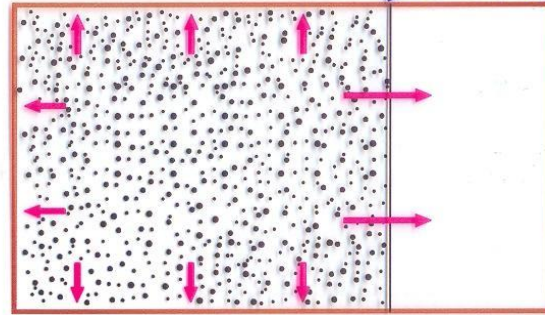
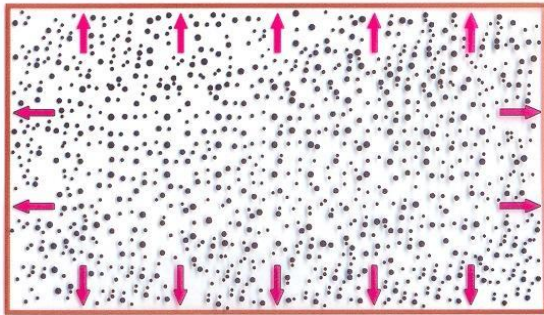
Conceitos Gerais

■ Alguns dados à temperatura ambiente

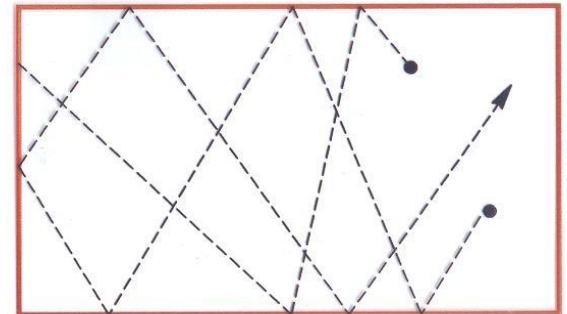
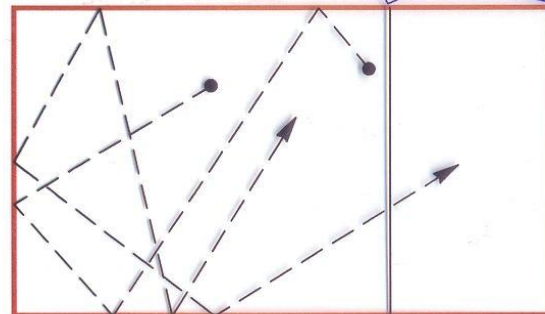
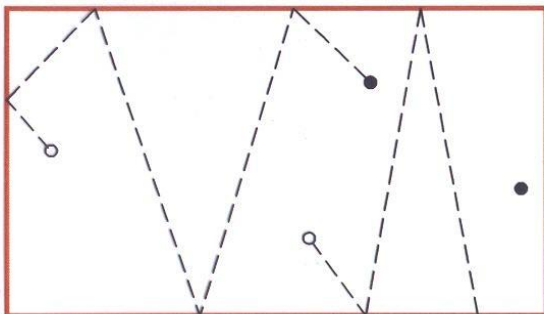
Pressão (Torr)	760	1,0E-03	1,0E-08	1,0E-10	1,0E-12	1,0E-14	1,0E-16
Caminho livre médio	7 μm	5 cm	5 km	500 km	5×10^5 km	5×10^6 km	5×10^8 km
Núm. de moléculas colidindo em cm^2/s	$3,0 \times 10^{23}$	$3,5 \times 10^{17}$	$3,5 \times 10^{12}$	$3,5 \times 10^{10}$	$3,5 \times 10^8$	$3,5 \times 10^6$	$3,5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

Regimes de escoamento de gases

Regime Viscoso



Regime Molecular



Regimes de Escoamento de Gases

Regime Viscoso:

Massa de gás, colisões entre moléculas, depende da viscosidade do gás,
 λ pequeno, $\lambda \ll D$

Velocidades altas – fluxo turbulento

Velocidades baixas – fluxo laminar

$D.P \geq 1$ (cm Torr) (fluxo viscoso)

Regime Molecular:

Colisões das moléculas com as paredes do sistema,
 λ grande, $\lambda \gg D$

$D.P \leq 10^{-2}$ (cm Torr) (fluxo molecular)

Conceitos Gerais

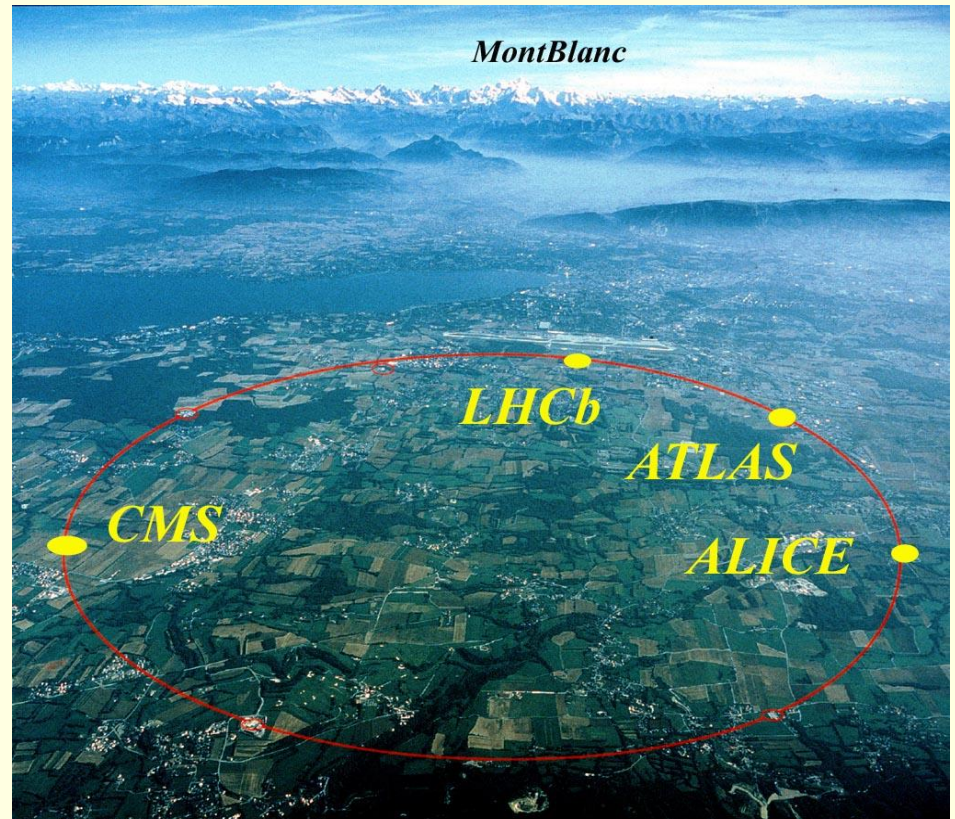
■ Grandes aceleradores

Ultra alto vácuo

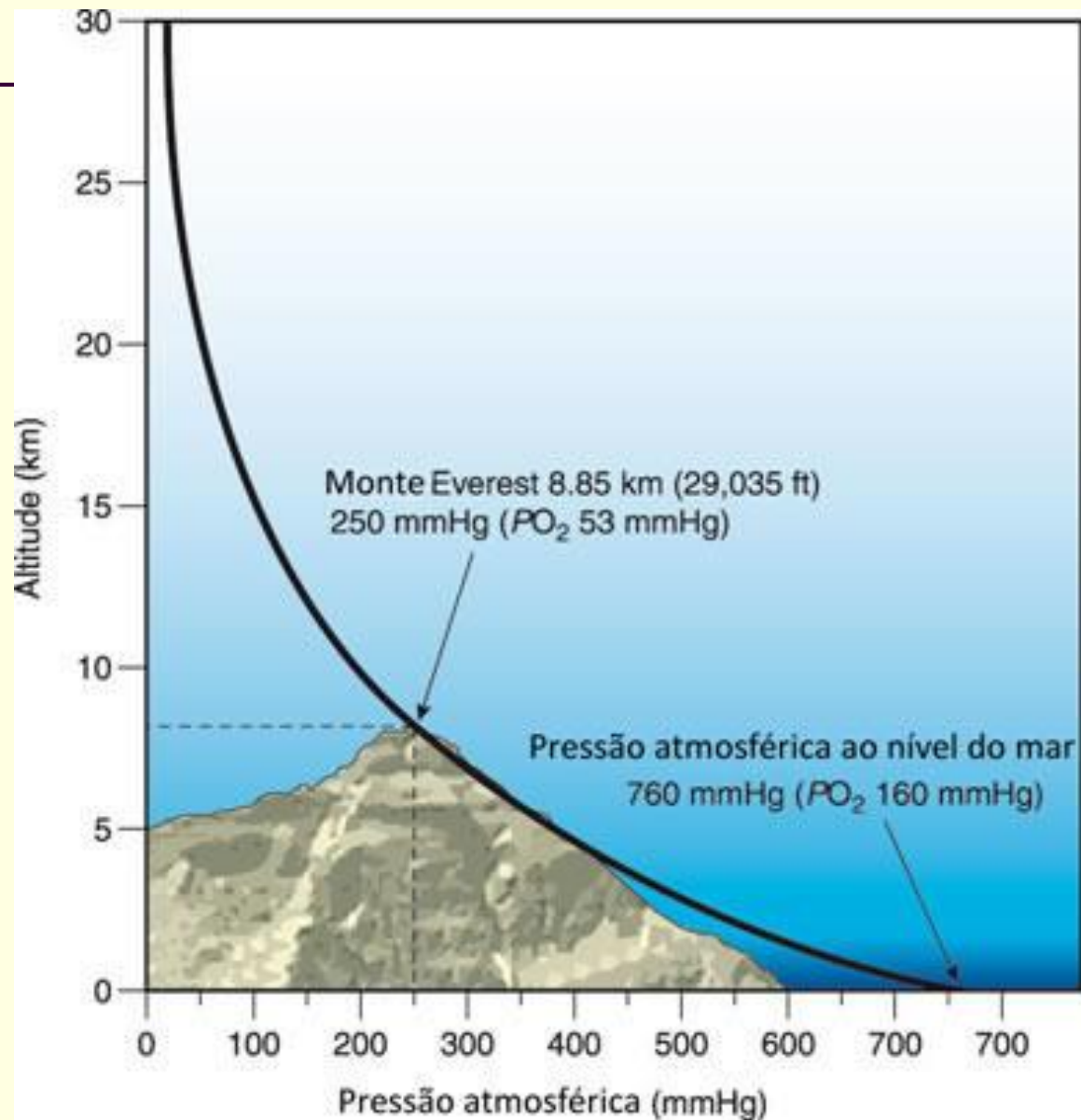
RHIC



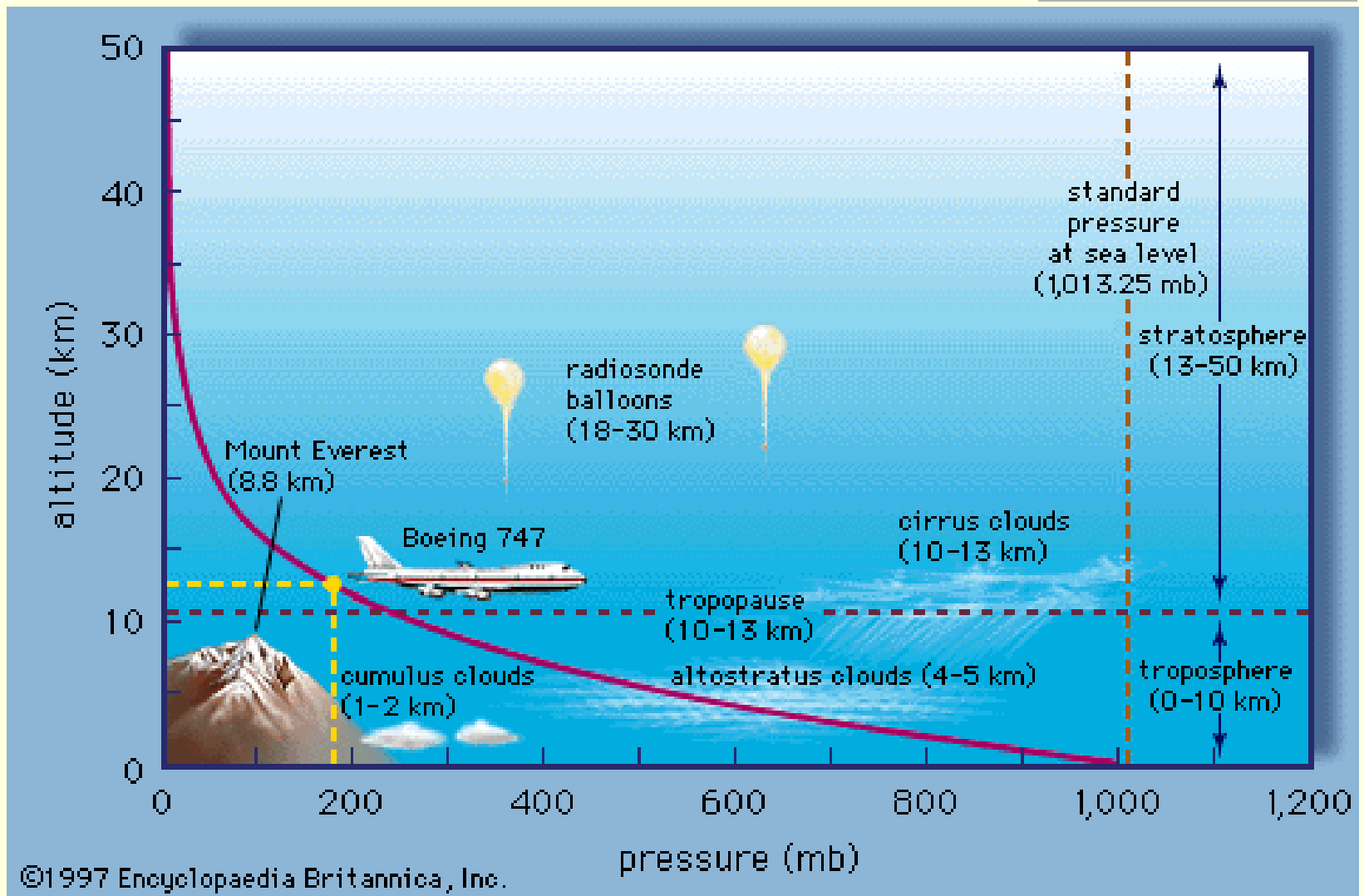
CERN



Conceitos Gerais

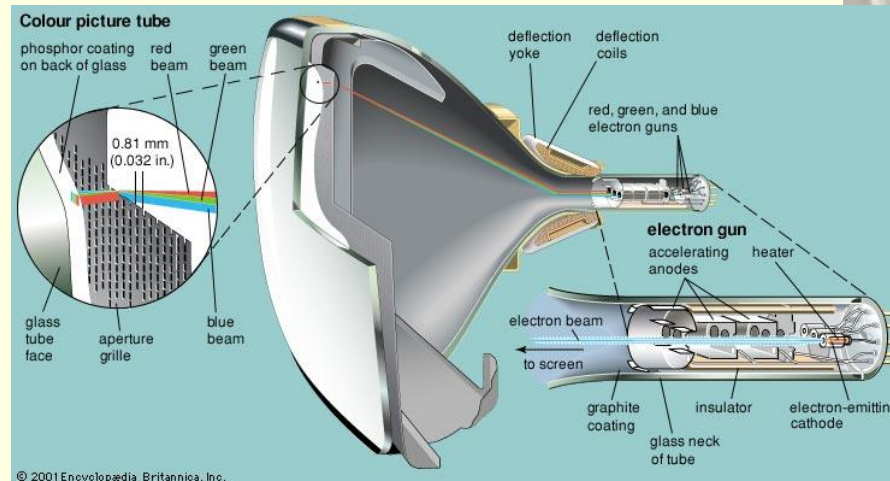


Conceitos Gerais



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

Ciência e Tecnologia do Vácuo

4300323

Professores:

Nilberto Heder Medina (Teoria)

Laboratório Aberto de Física Nuclear, sala 206

Sala de Aula (teoria): 2015, Ala II

tel: 3091-6763

medina@if.usp.br

Saulo Gabriel Alberton (Laboratório) Ed. Oscar Sala, sala 122

tel: 48-6678 email: alberton@if.usp.br

Vitor Angelo Paulino Aguiar (Laboratório) Ed. Oscar Sala, sala 126

Tel: 48-6676 email: Vitor_ap_aguiar@Hotmail.com

Sala de Aula: 1008 Ala II – andar térreo

Laboratório Didático:

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

Sociedade Brasileira de Vácuo:

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

Stoa USP

<http://disciplinas.stoa.usp.br> (material didático)

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

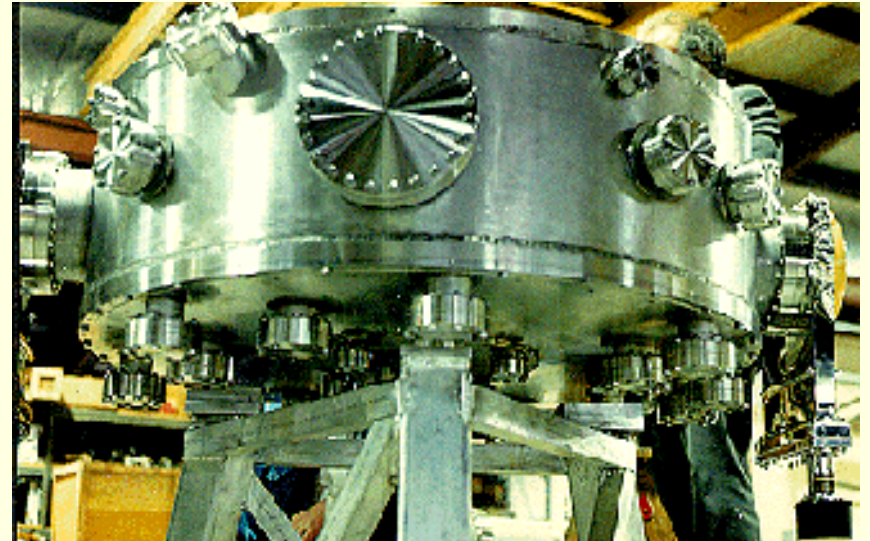
Permeação e desgaseificação

Evaporação

Cálculos de Sistemas de Vácuo e Aplicações

Sistemas de Vácuo

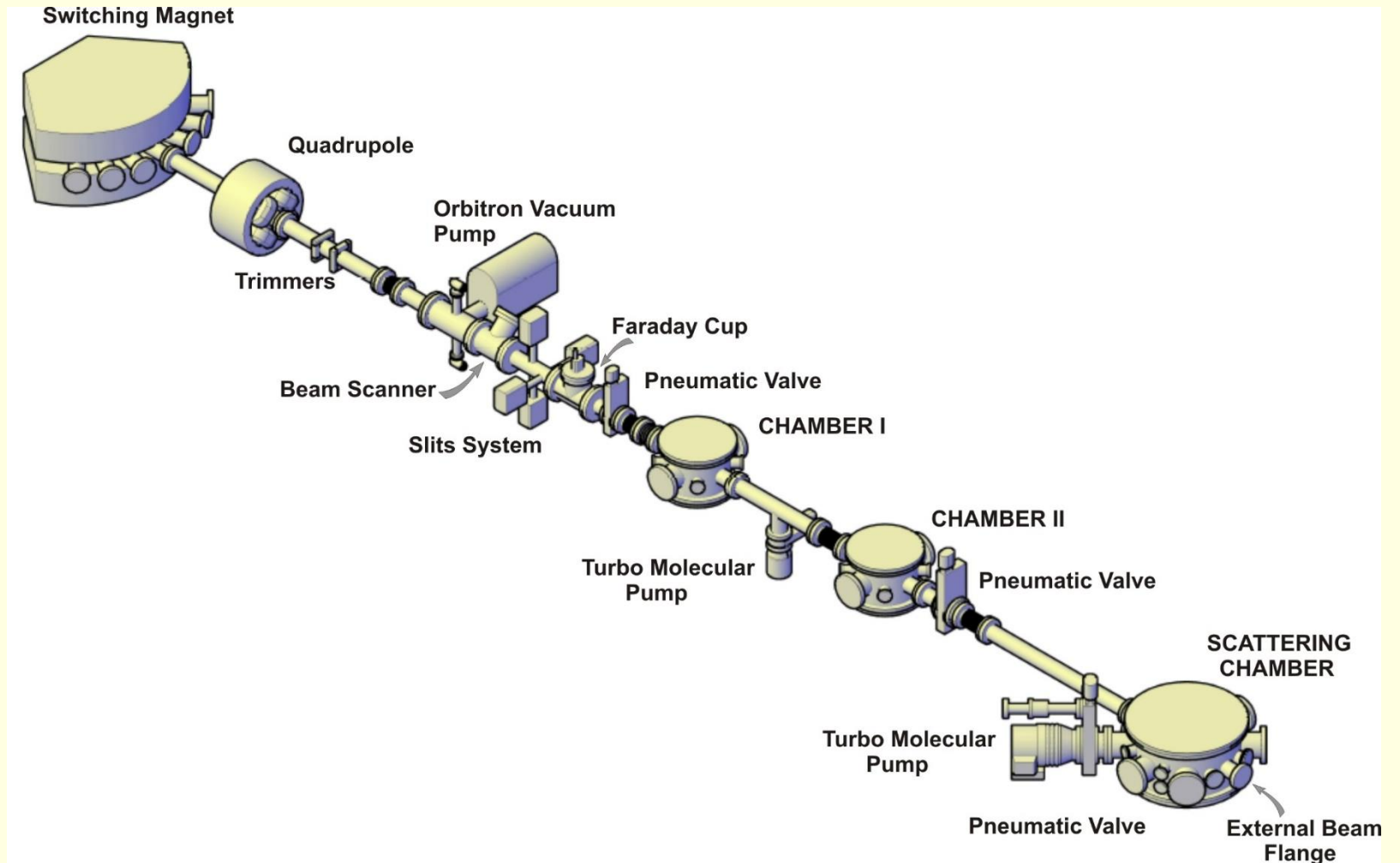
Exemplos



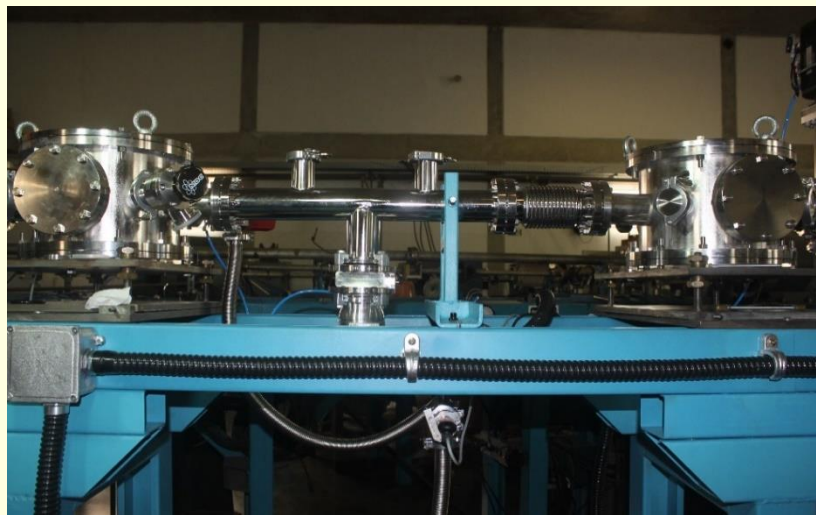
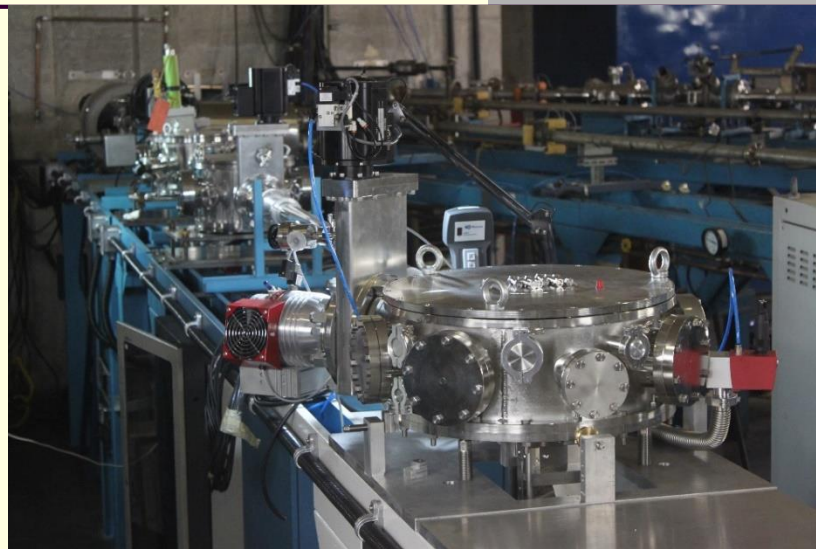
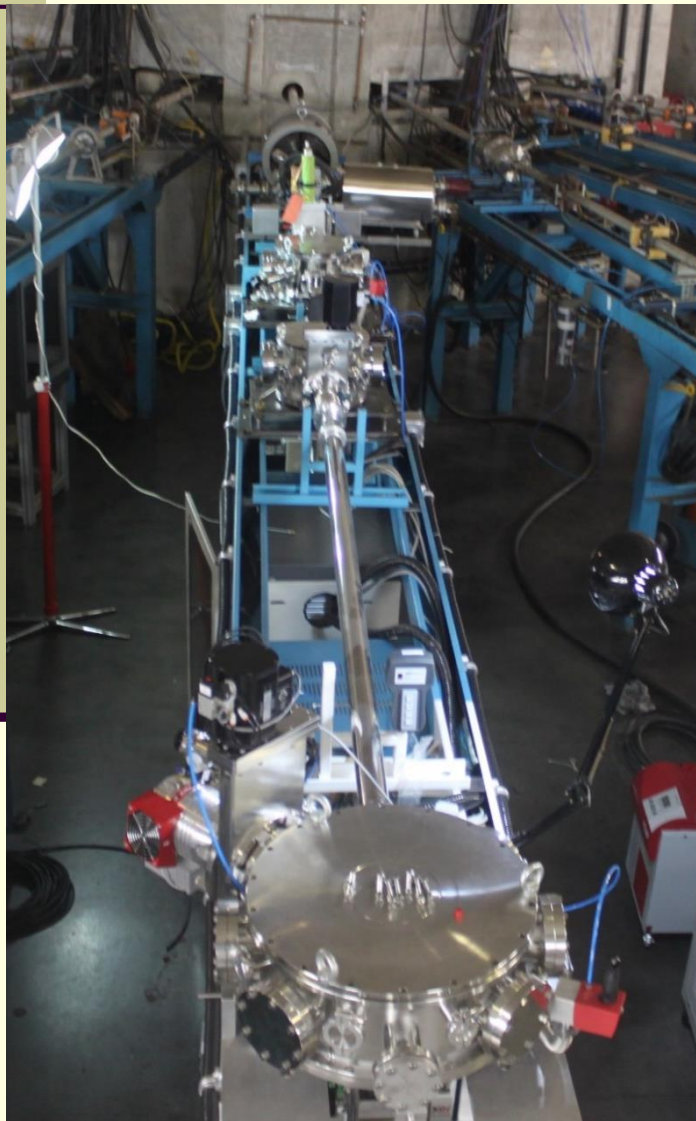
Sala Experimental do acelerador Pelletron



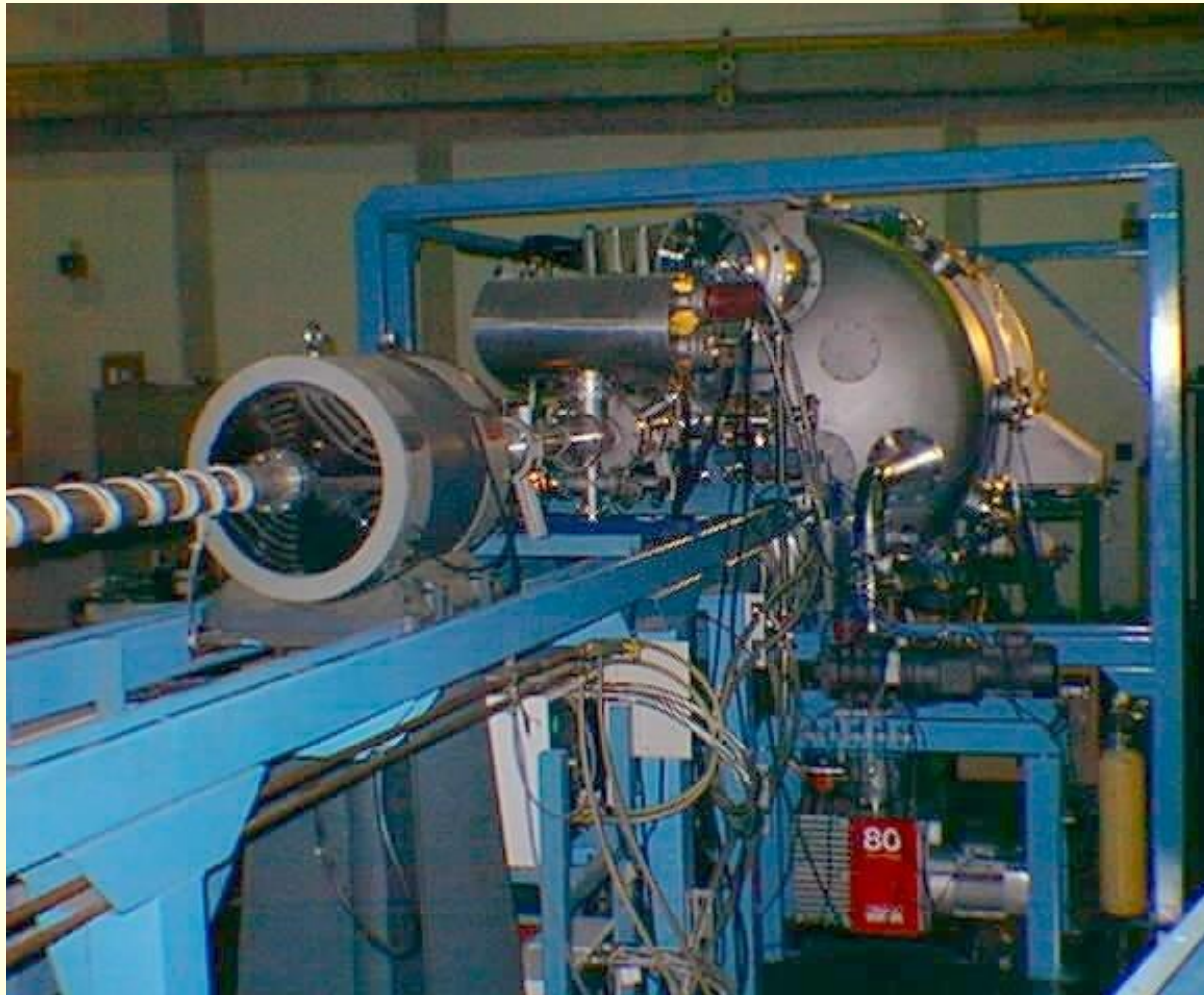
Canalização 0° do Acelerador Pelletron



Canalização 0° do Acelerador Pelletron

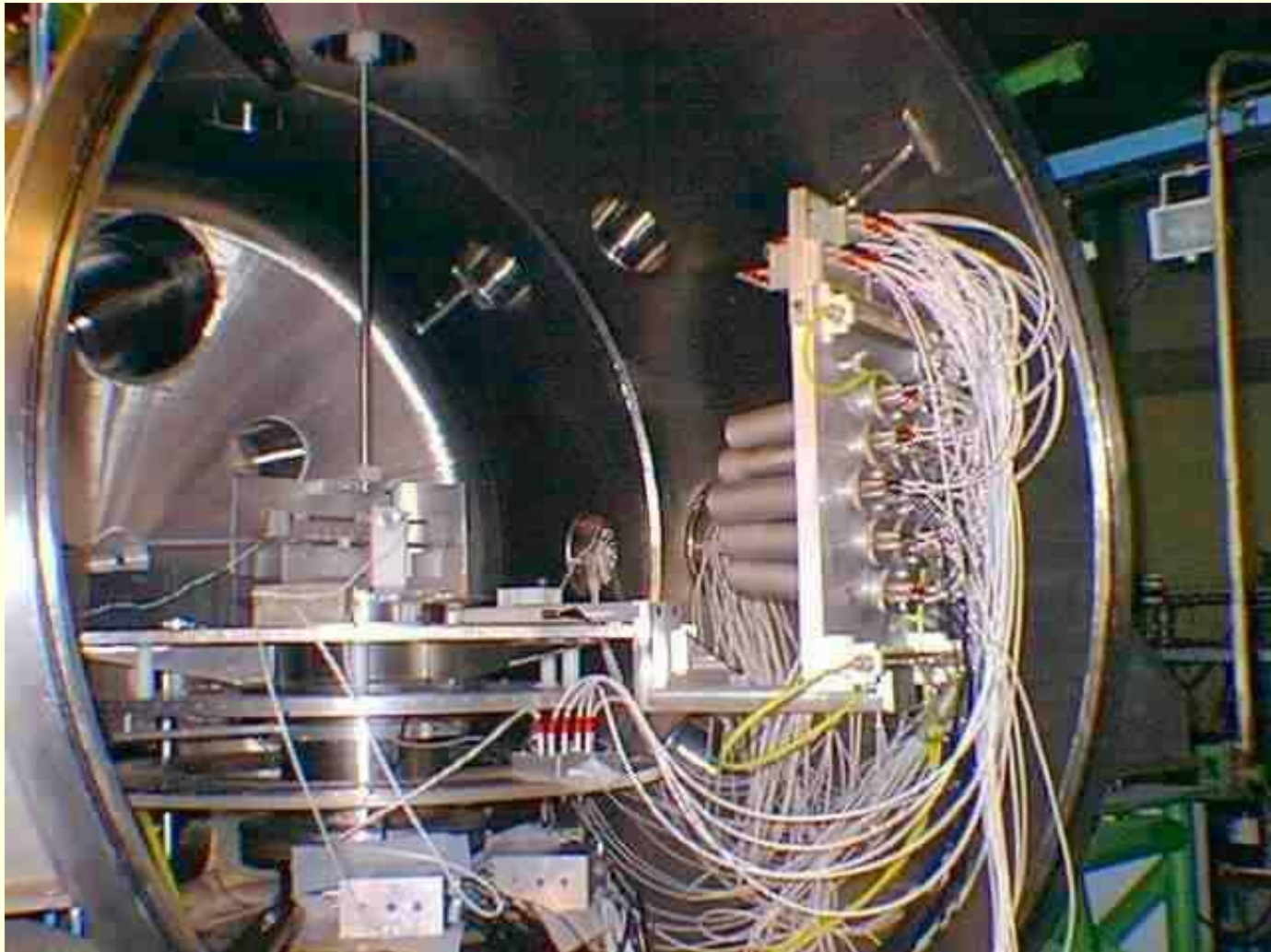


Canalização 15° do Acelerador Pelletron

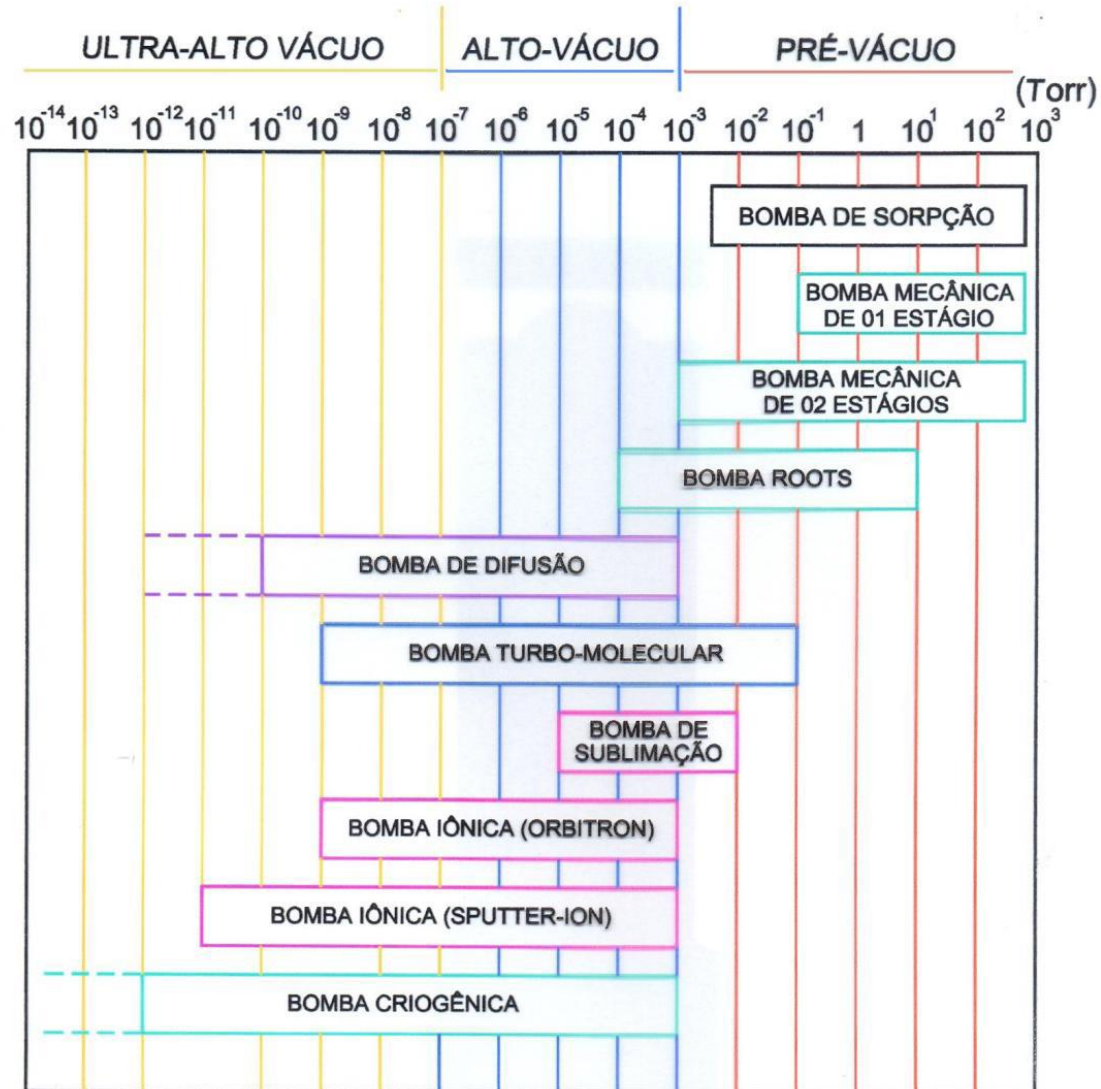


Atualmente está sendo montada no novo acelerador LINAC

Interior de uma Câmara de Espalhamento



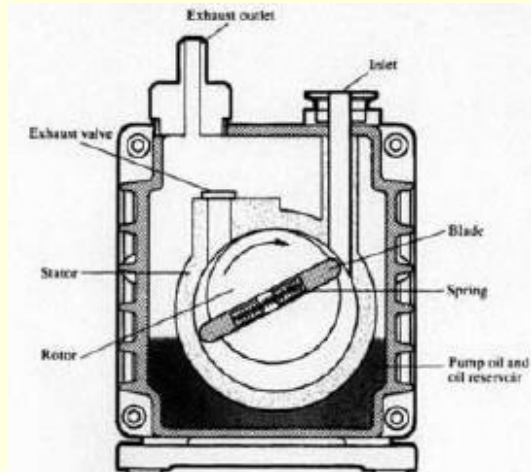
Bombas de Vácuo



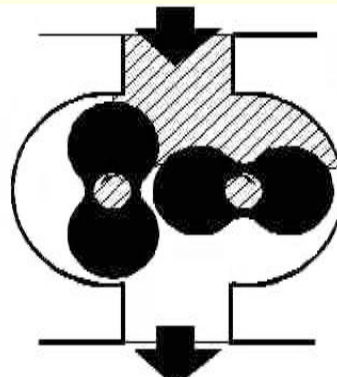
Pré-vácuo

Bombas mecânicas

Bombas rotativas

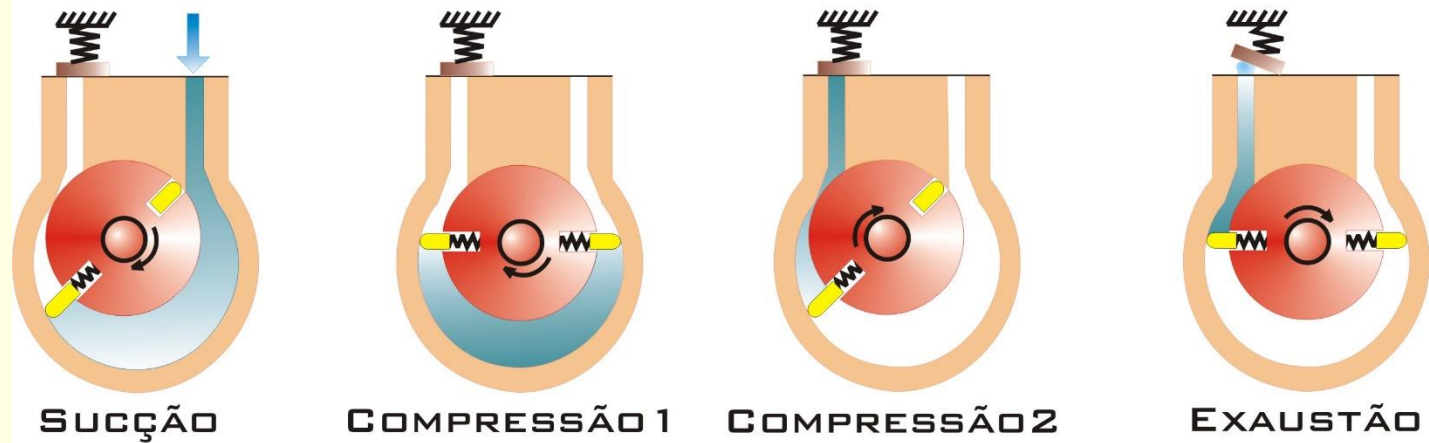


Bombas roots

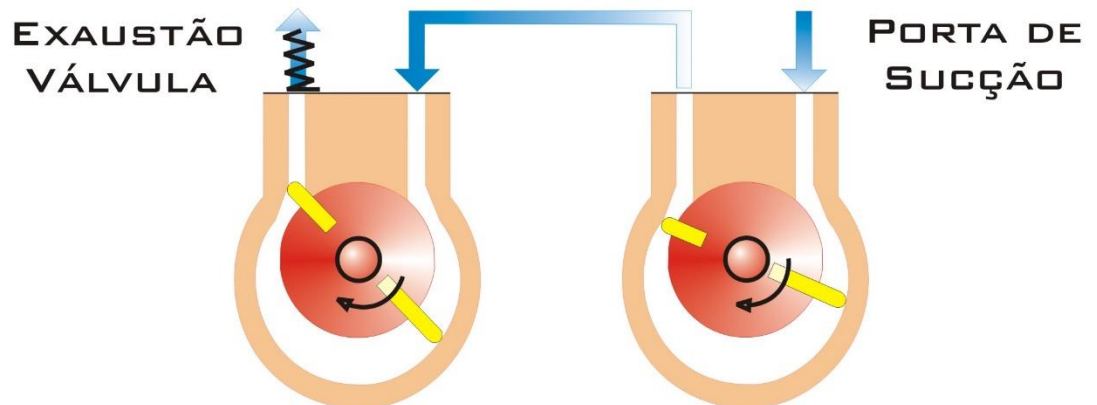


Bomba rotativa

BOMBA ROTATIVA SELADA À ÓLEO



PROCESSO DE ESCAPE DE BOMBAS SELADAS À ÓLEO DE 2 ESTÁGIOS



Funções do óleo:

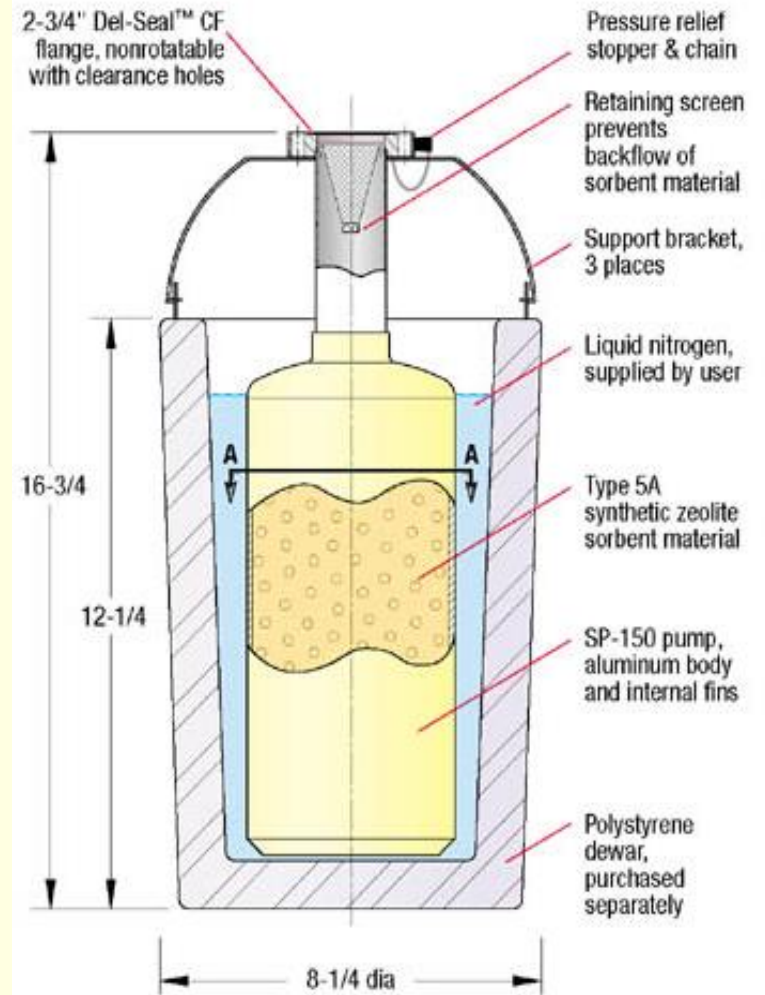
- Vedação
- Lubrificação e ação anti-corrosiva
- refrigeração

Bomba Scroll



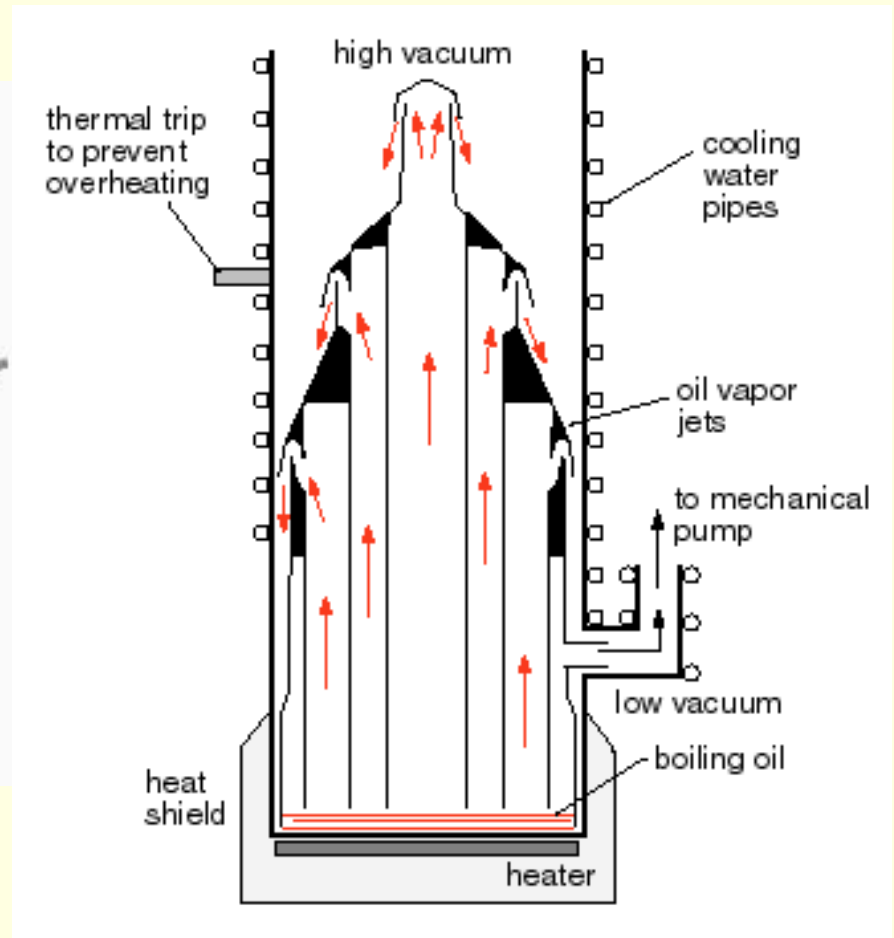
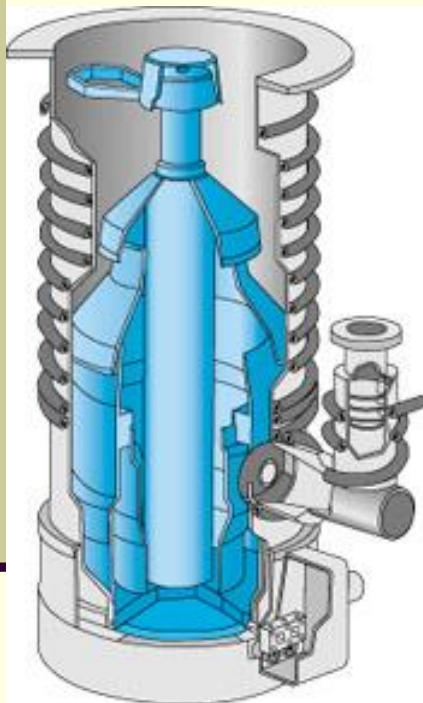
Pré-vácuo

Bombas de sorção



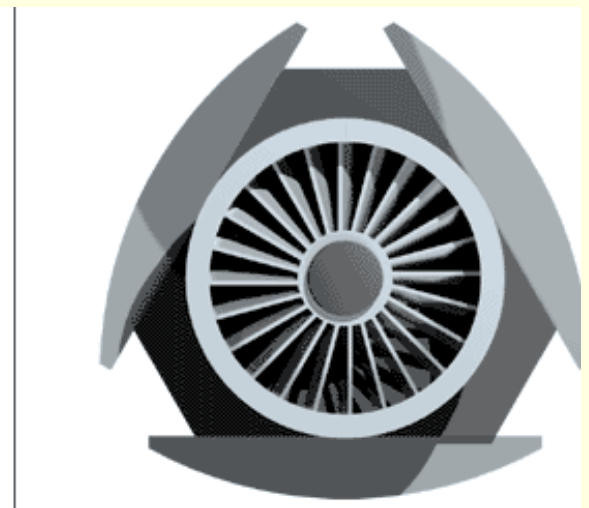
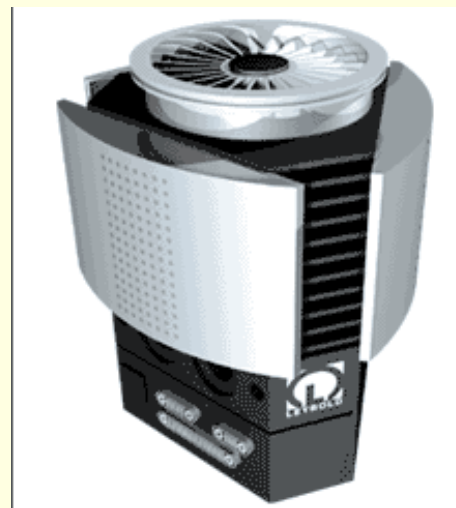
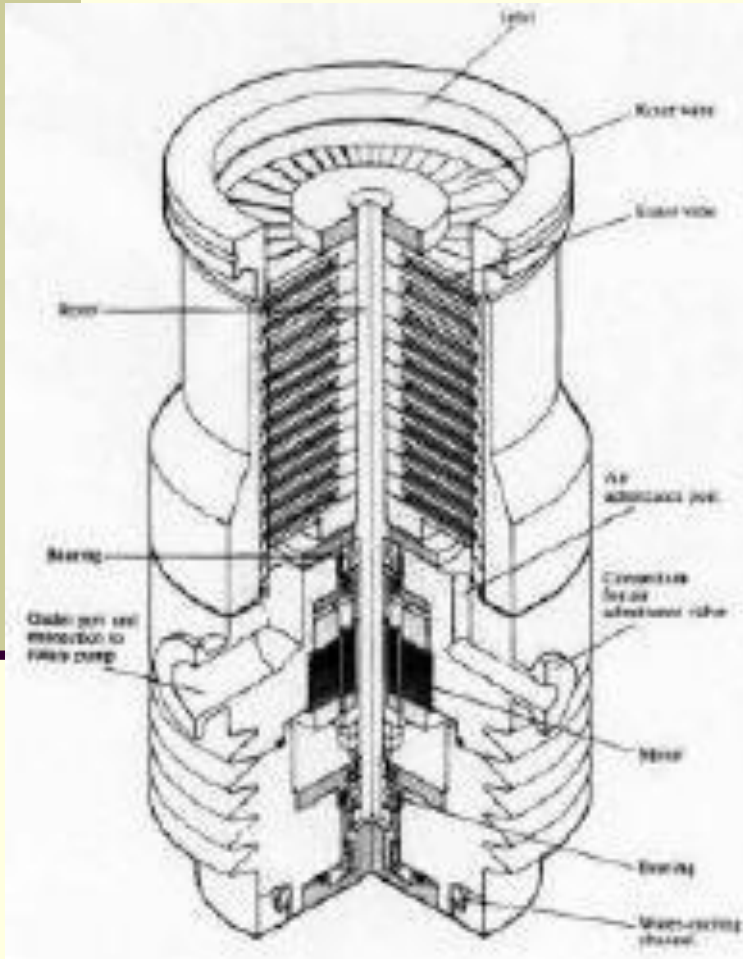
Alto-vácuo

Bomba Difusora



Alto-vácuo

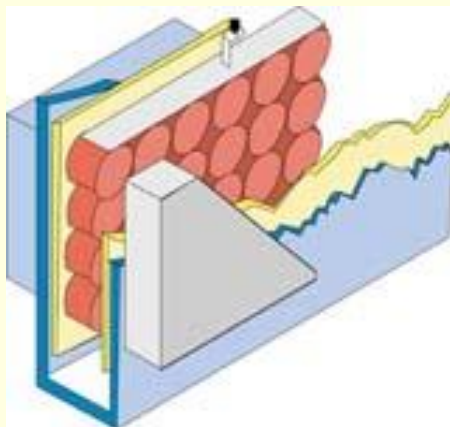
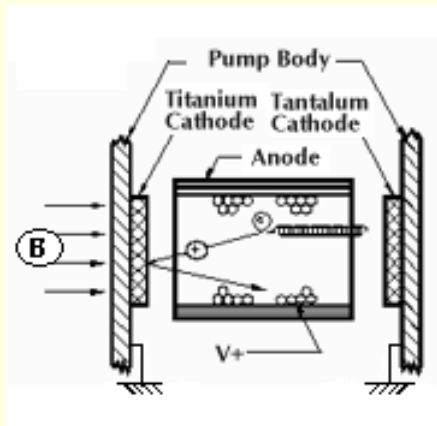
Bomba Turbo-molecular



Bomba Turbo-Molecular

Alto-vácuo

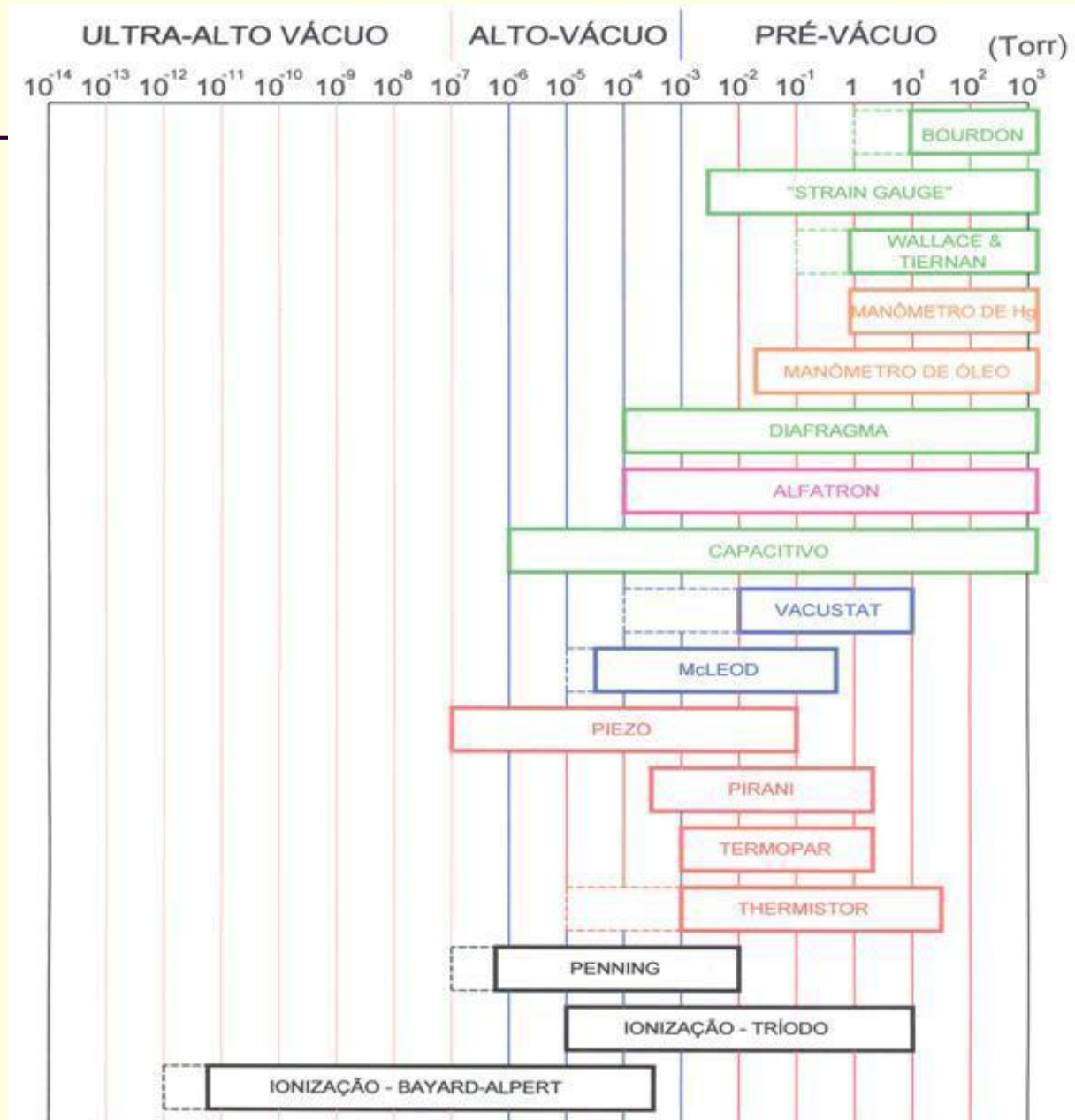
Bomba iônica



Bomba criogênica



Medidores de Pressão



Manômetros mecânicos

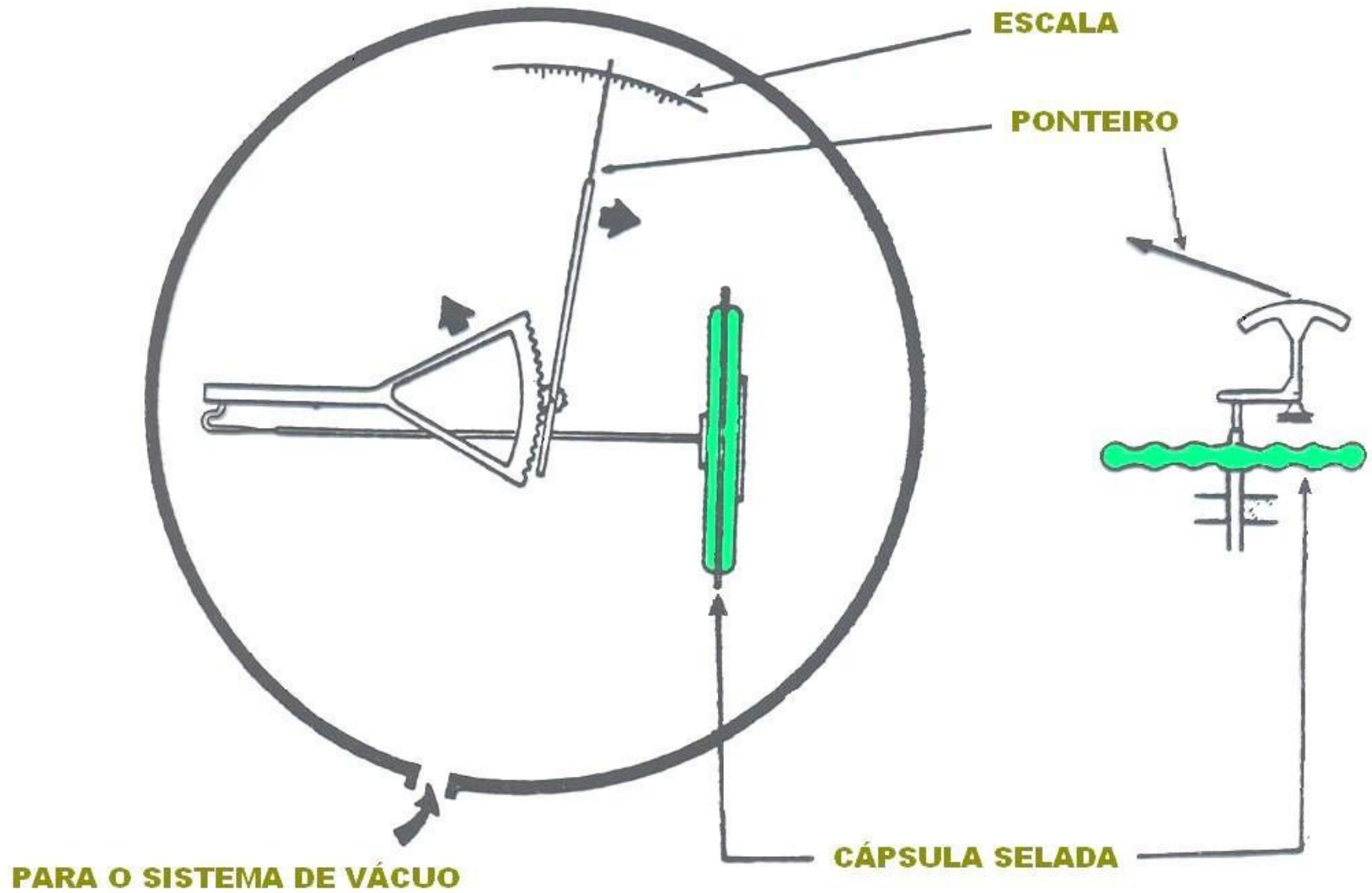
Bourdon



Wallace-Tiernan

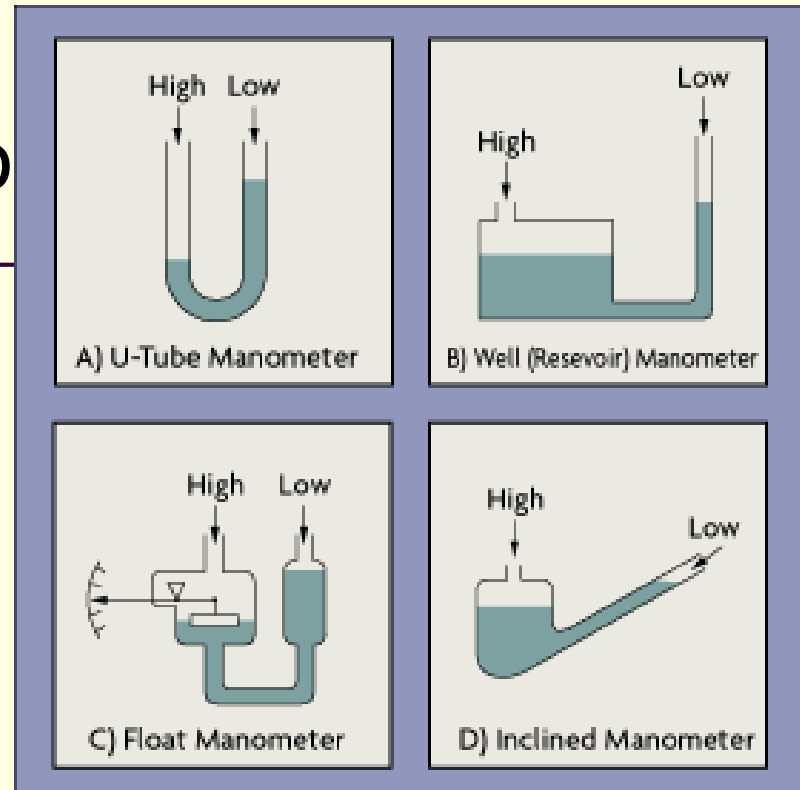


Wallace-Tiernan

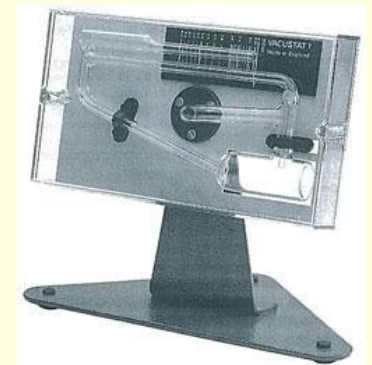


Manômetros de mercúrio

McLeod

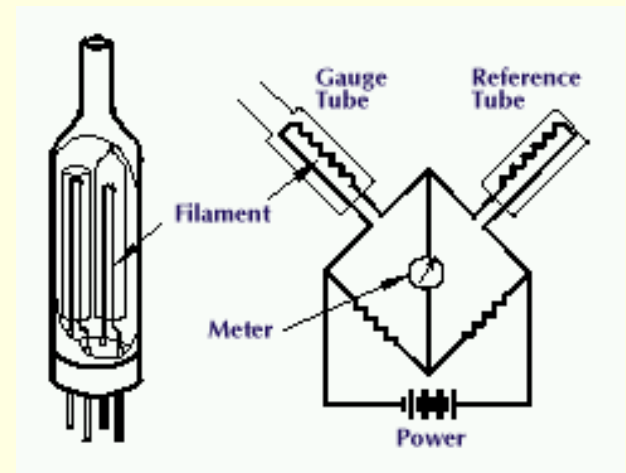
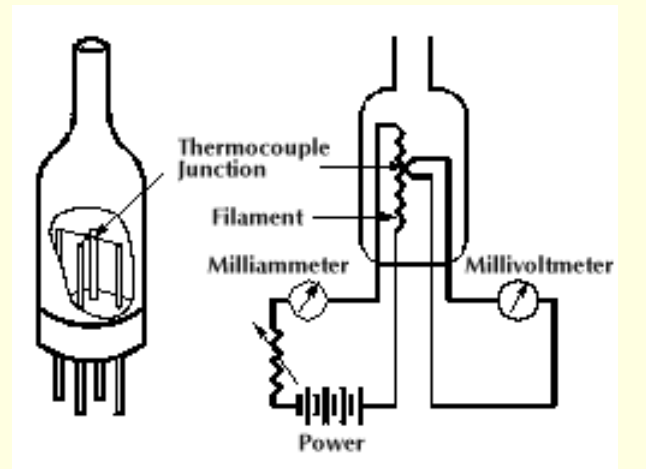


Vacustat

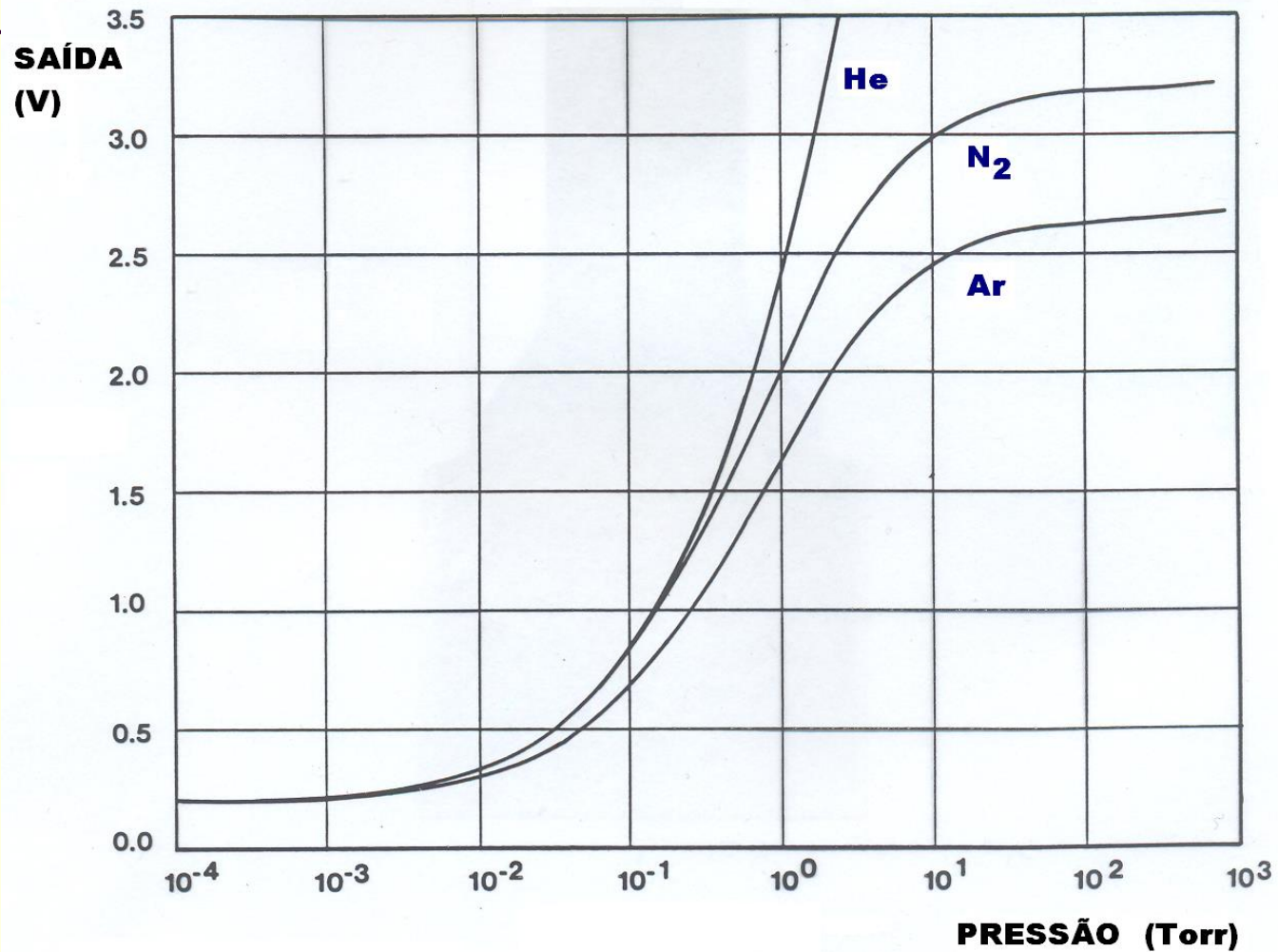


Manômetros de termo-condutividade

Termopar, Pirani e thermistor

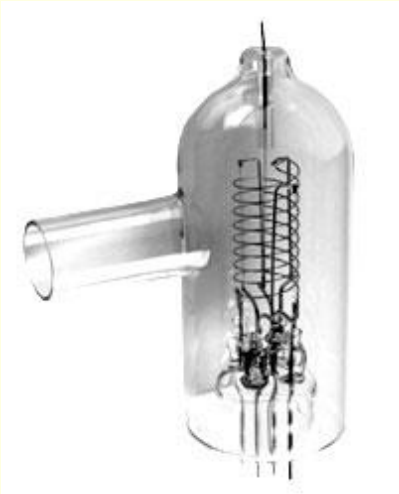
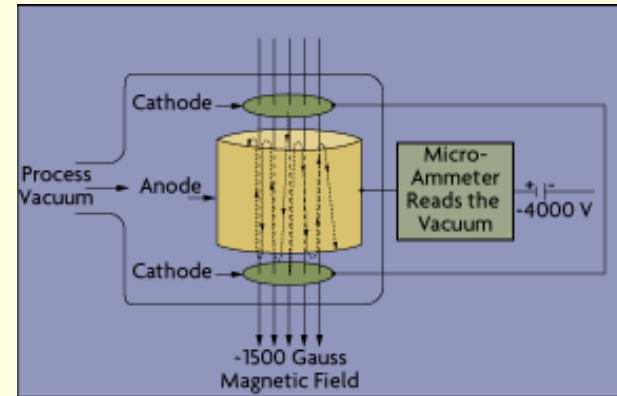
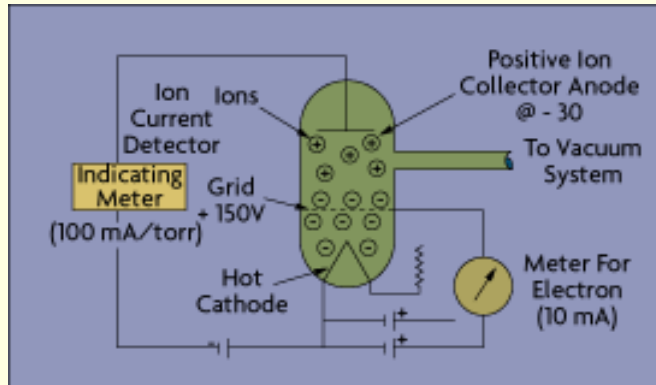


PIRANI – CURVA DE RESPOSTA

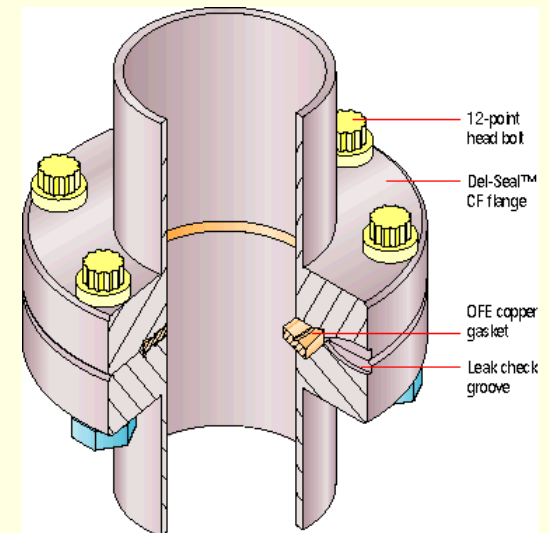
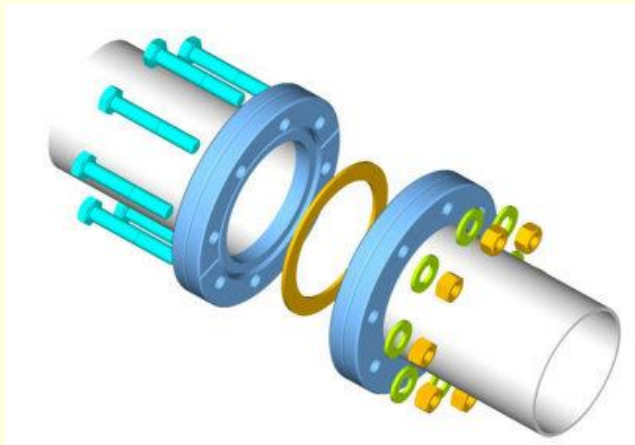


Manômetros de ionização

Triodo, Bayard-Alpert e Penning

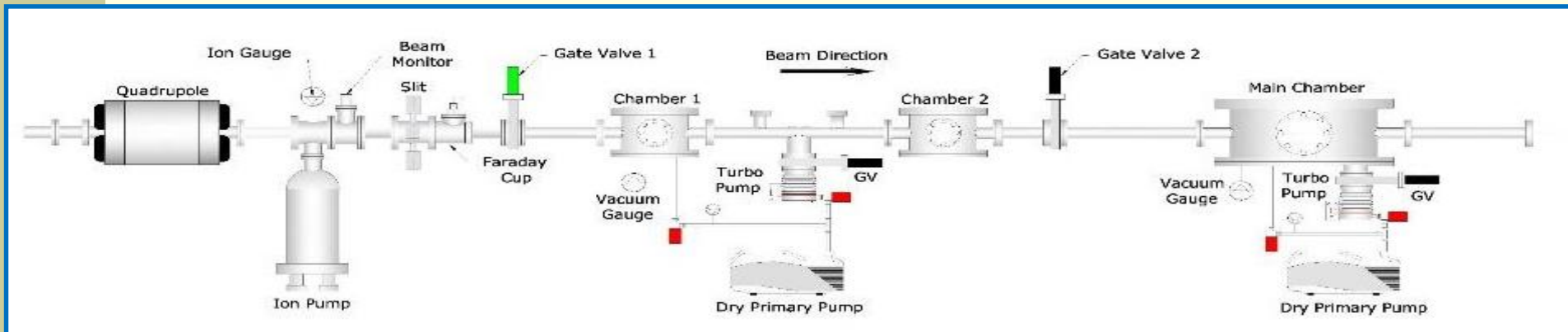


Selagem com o-rings, gasket ou conflat



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

Sistema de vácuo SAFIIRA



919 HOT CATHODE CONTROLLER

FILAMENT DEGAS

ON-OFF-REMOTE

POWER OFF ON

HPS Division
HPS INSTRUMENTS, INC.

TORR X 10

SET POINTS

ON-ADJUST

SP1 SP2

PROTECTION SENSITIVITY

ADJUST

PRESSURE SP1 SP2 PROTECT SENSITIVITY

DISPLAY FUNCTION

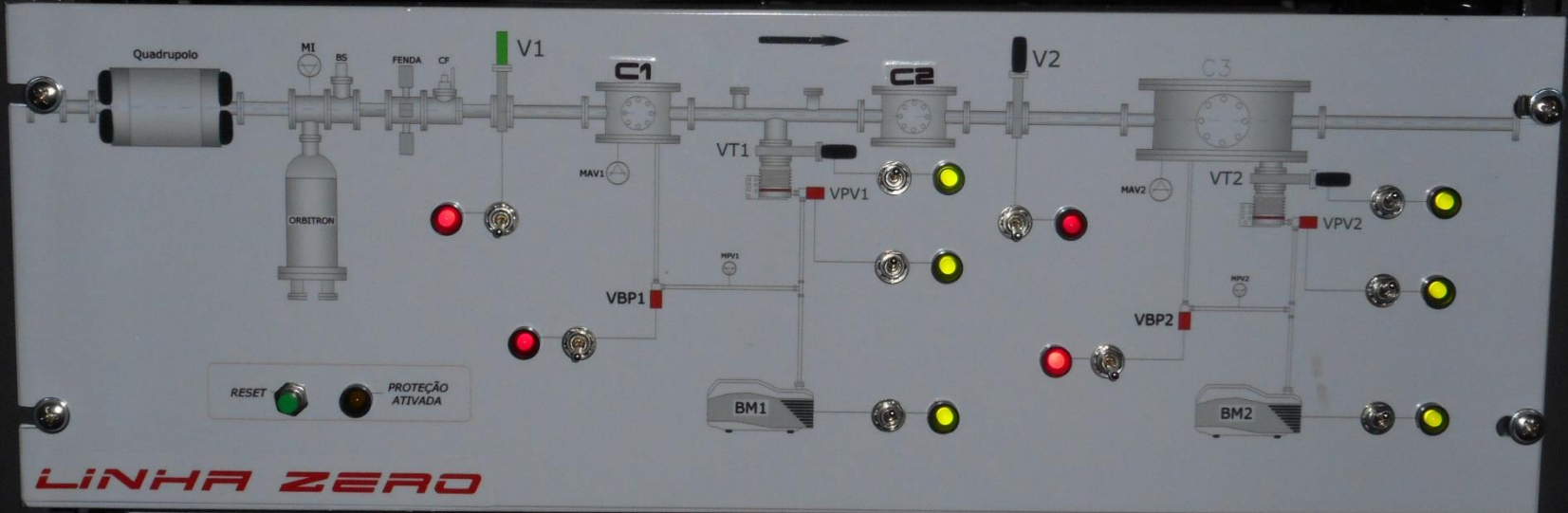
PFEIFFER VACUUM

MaxiGauge™

1) MPV1
2) MPV2
3) MAV1
4) MAV2

OUTGASING	2.4E-02 Torr
CH	1.7E-02 Torr
OUTGASING	no sensor
CH	no sensor
OUTGASING	1.2E-03 Torr
CH	1.4E-06 Torr

Sensor Single Mode



DCU PFEIFFER VACUUM

TURBO 1

S10: DruCurrent
0.18 A

DCU



DCU PFEIFFER VACUUM

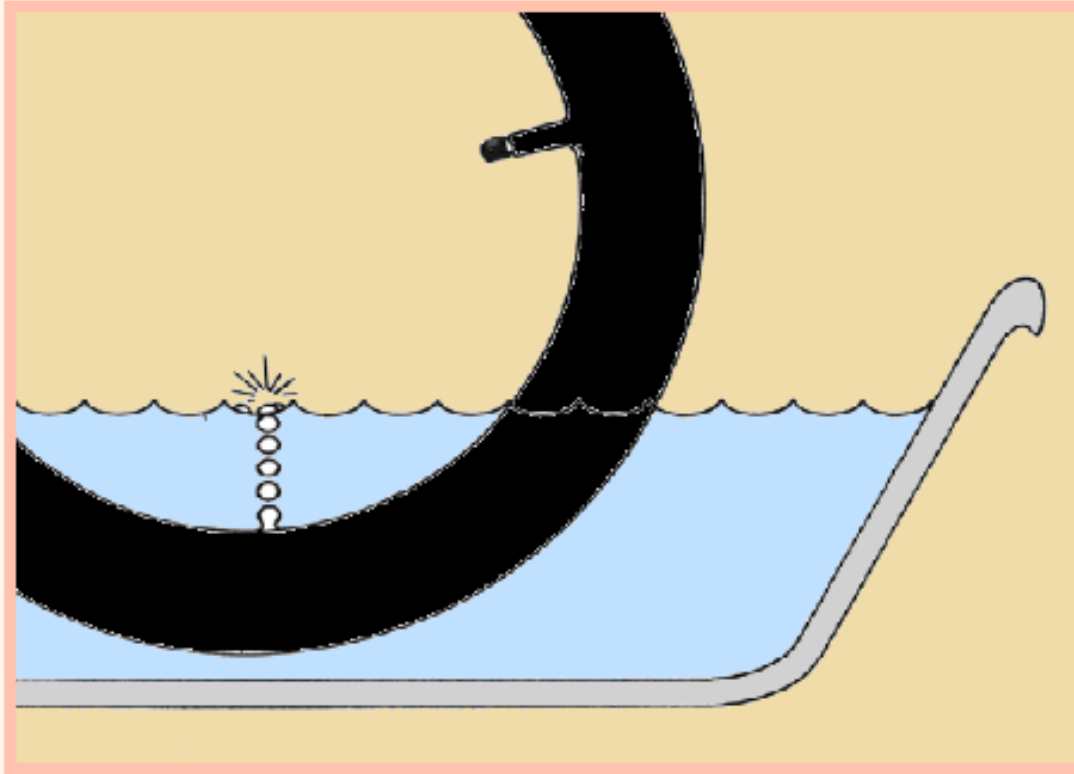
TURBO 2

S10: DruCurrent
0.59 A

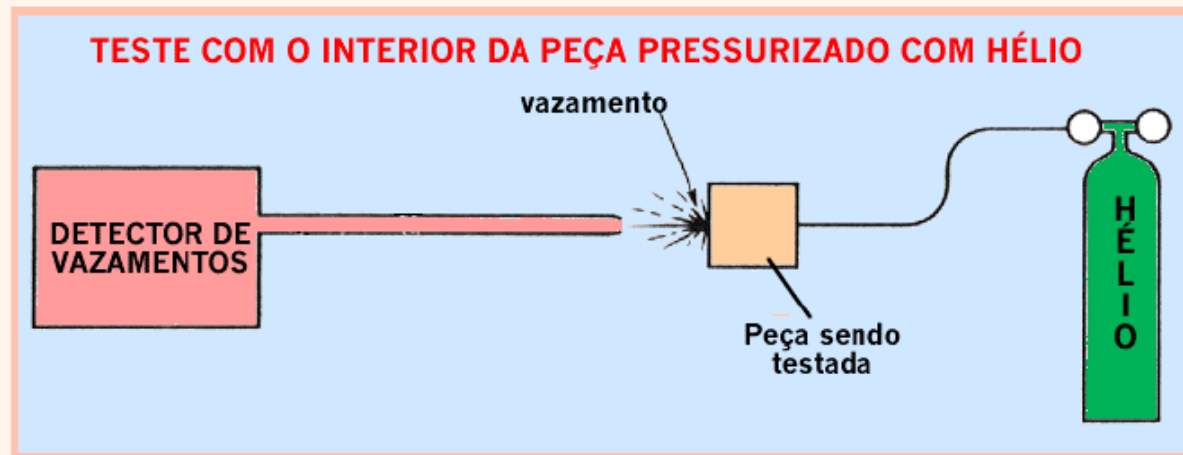
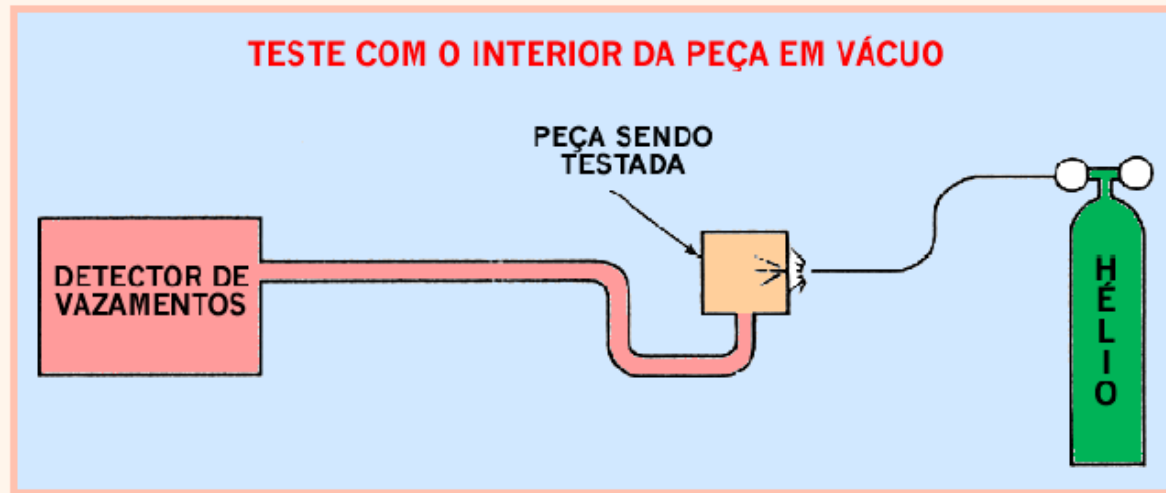
DCU



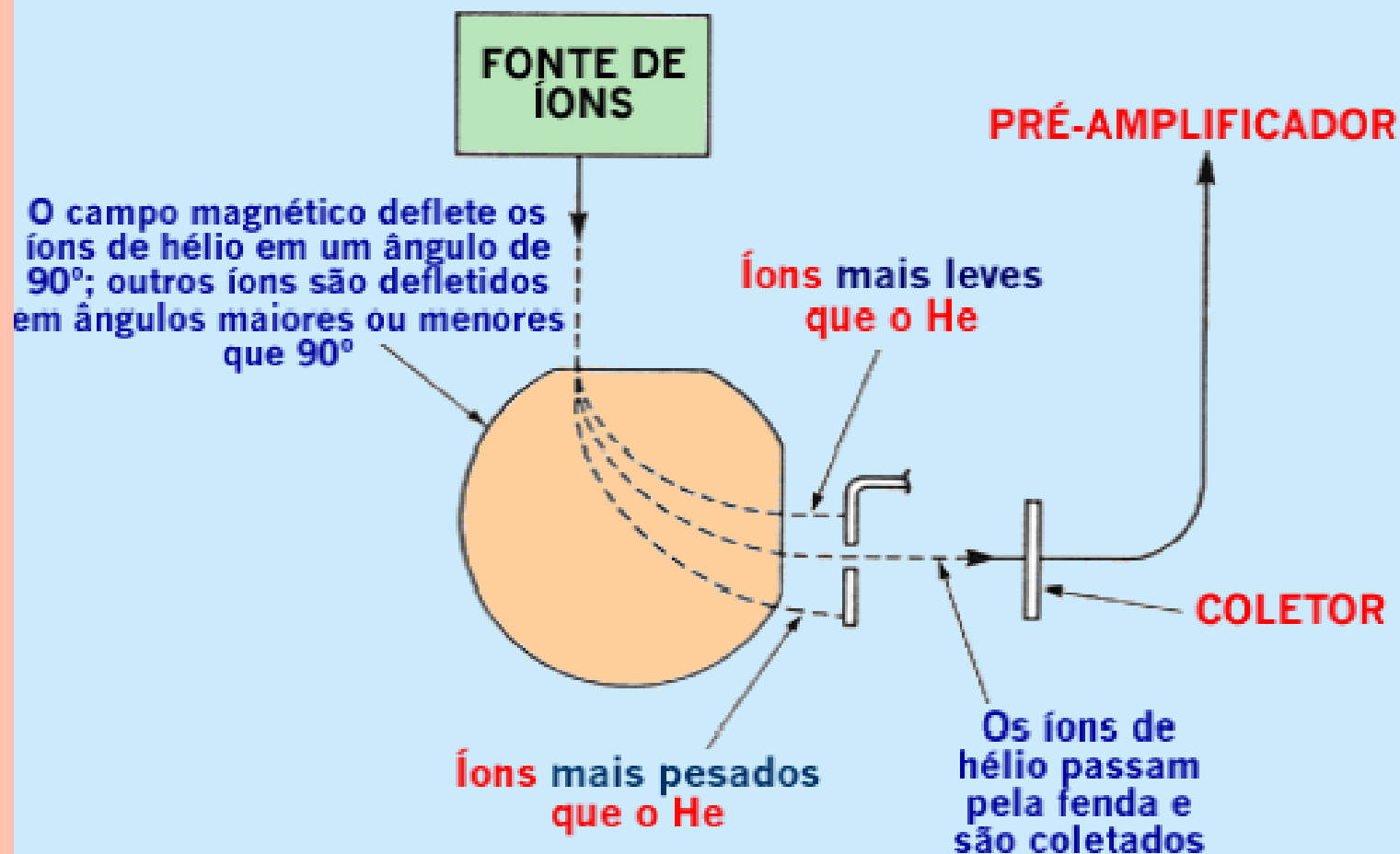
Detecção de Vazamentos



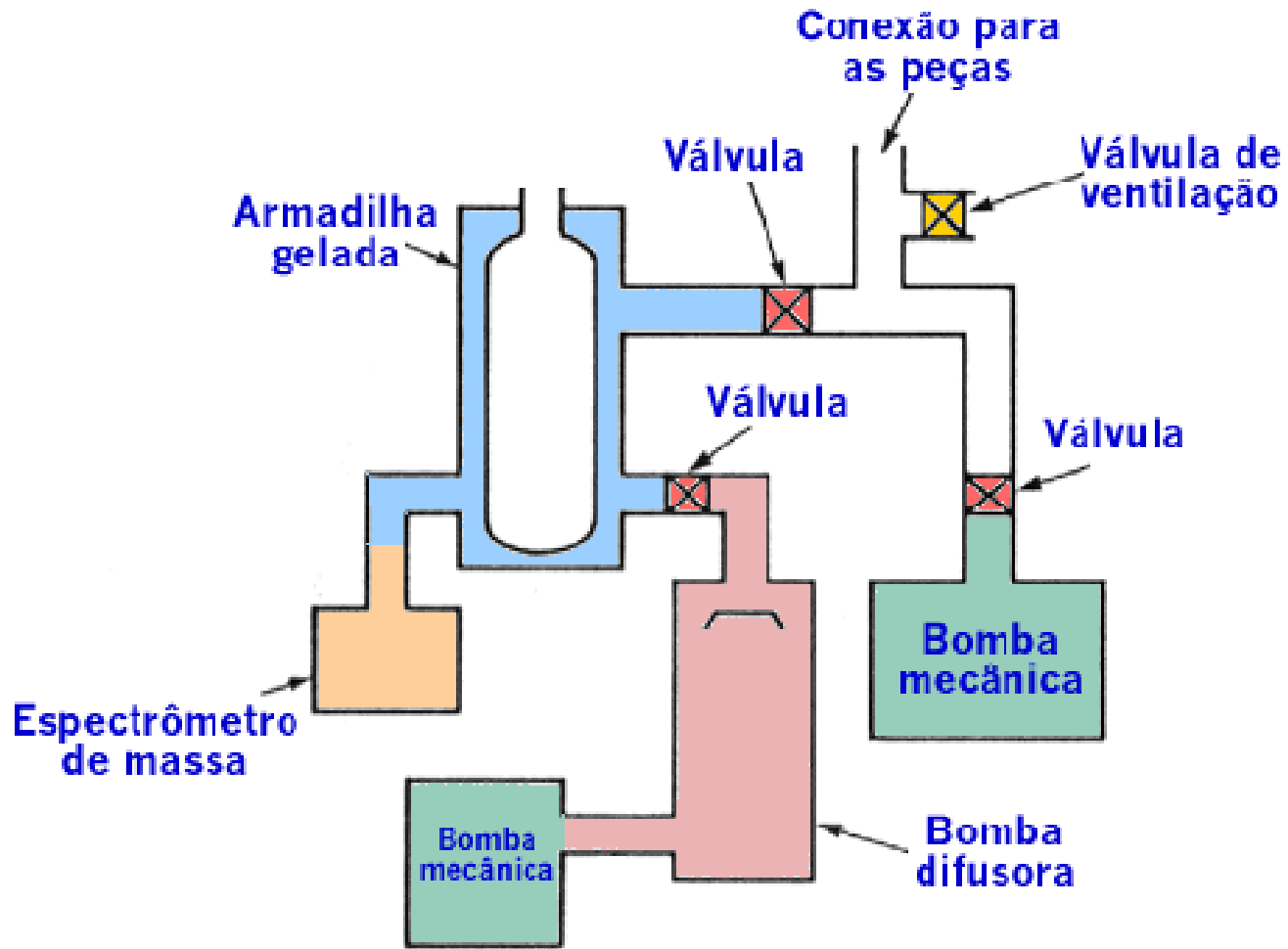
Sistemas para detecção de vazamentos



PRINCÍPIO DA SEPARAÇÃO DE ÍONS POR CAMPO MAGNÉTICO



Detector de Vazamentos



DETECTOR DE VAZAMENTOS CONVENCIONAL

Válvulas em teste

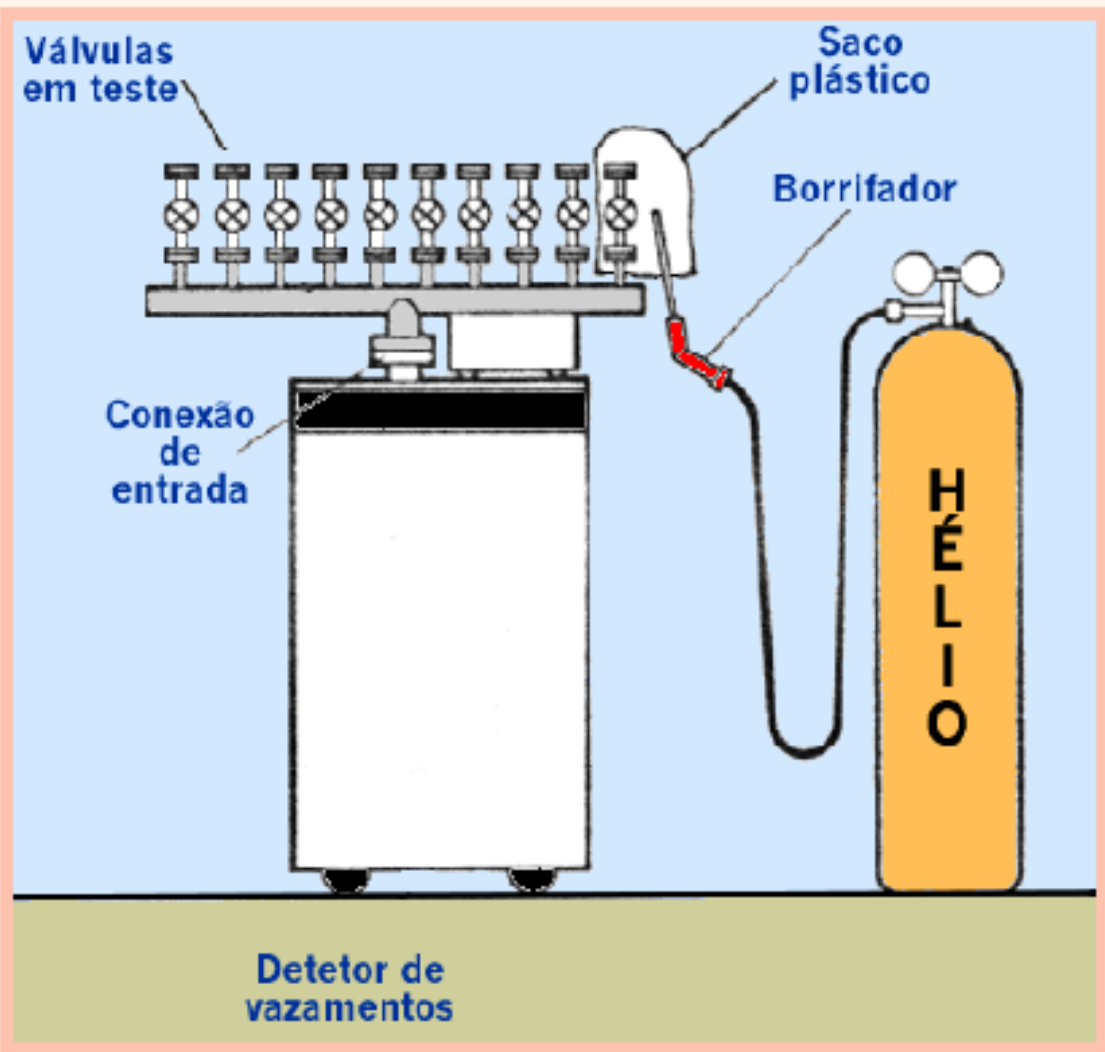
Saco plástico

Borrifador

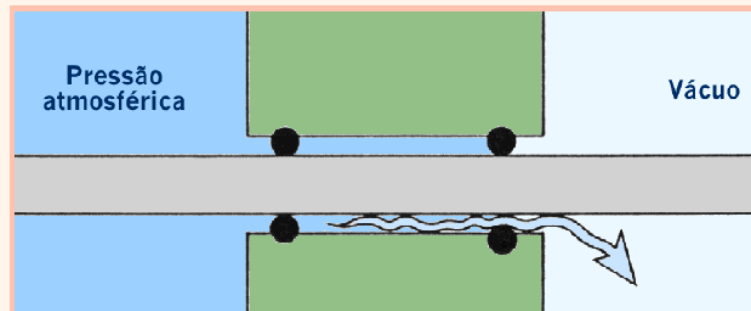
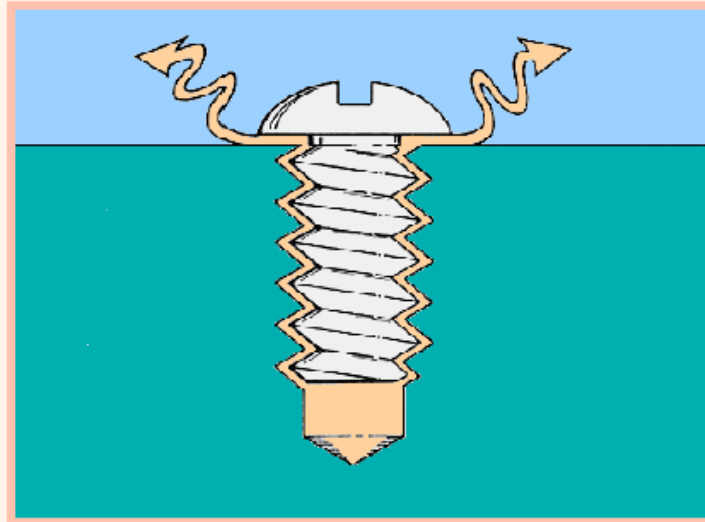
Conexão de entrada



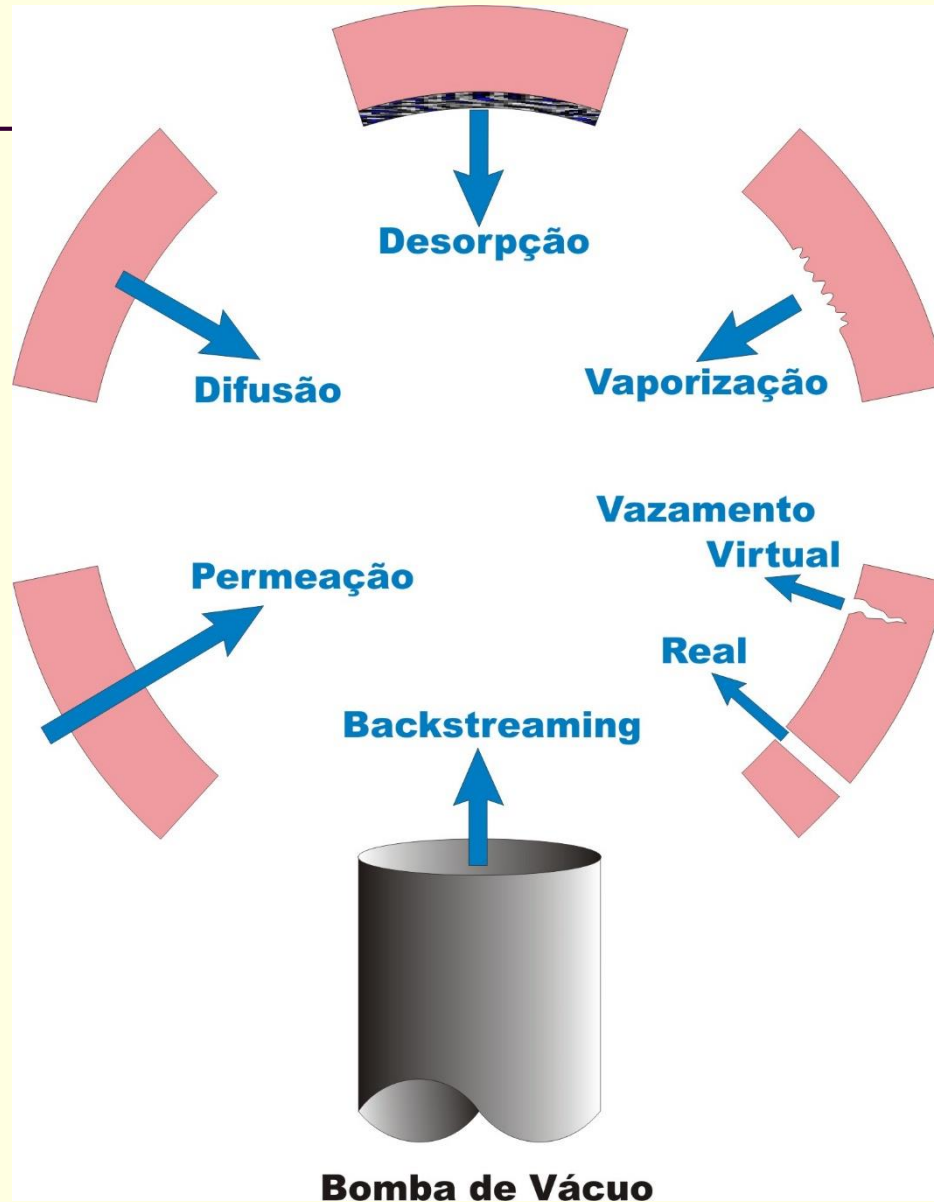
Detetor de vazamentos



Vazamento Virtual



Principais fontes de gases e vapores em um sistema de vácuo



Modelos de Fontes de gases

Fonte de gás	Característica	Comentário
Volume	$P = P_o e^{\frac{-S}{v}}$	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	$Q_{vv} = C_v P_o' e^{\frac{-C_v t}{V_c}}$	$C_v \ll S_b$ 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	$W = 0.058 P_v \sqrt{\frac{M}{T}} \frac{g}{cm^2 s}$ $Q = WA \text{ (g/s)}$ $Q = \frac{\Delta N}{\Delta t} kT \frac{Torrl}{s}$	Crescimento de P_v em função da temperatura é exponencial e por isso mais rápido do que $\frac{1}{\sqrt{T}}$
Desorção Térmica (degaseificação)	Primeira ordem: $\frac{dc}{dt} = c_o k_1 e^{-\frac{t}{\tau_{res}}}$ $\frac{1}{k_1} = \tau_{res} = \tau_o e^{\frac{E_a}{N_o kT}}$	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_2 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

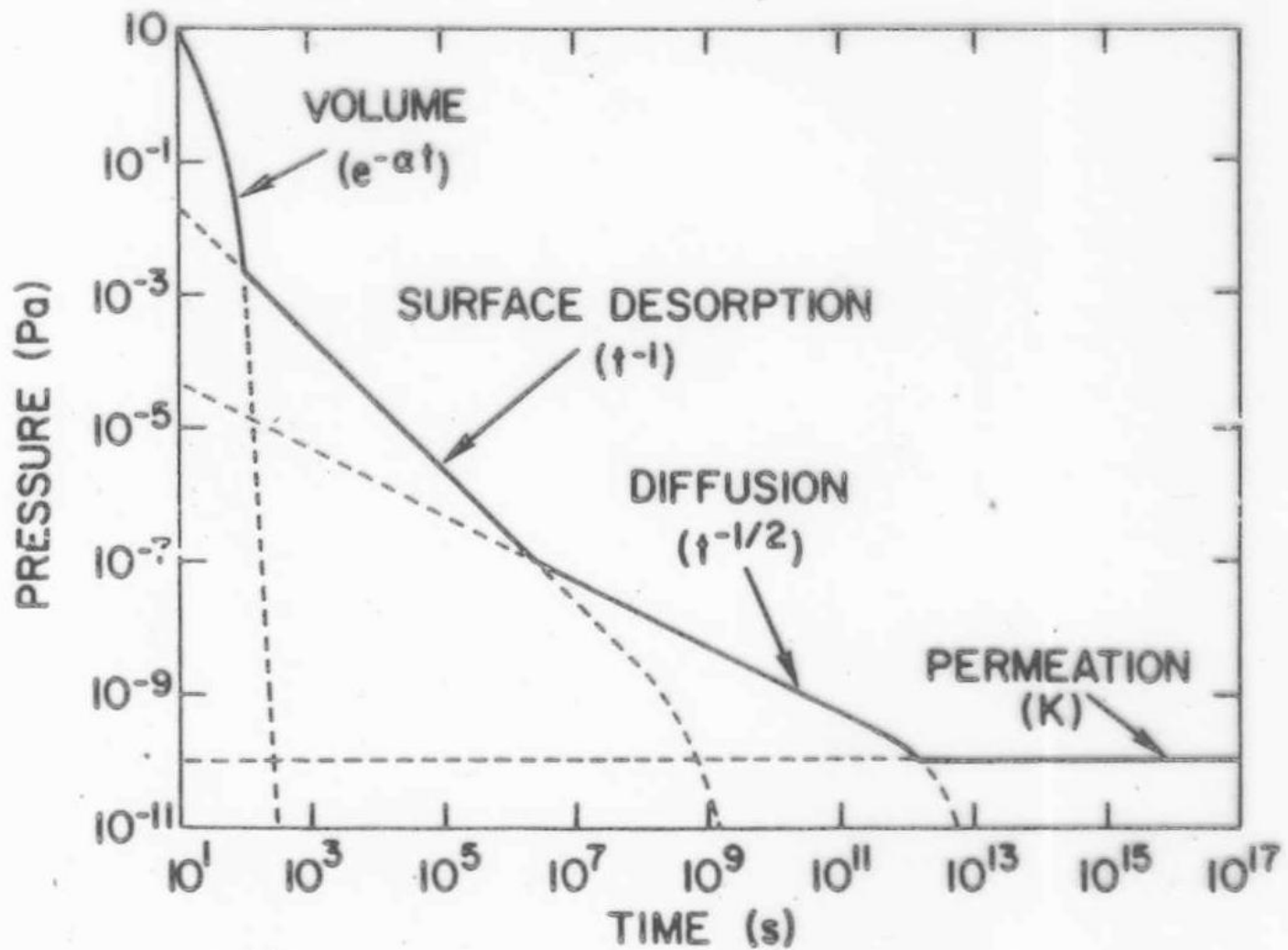


Fig. 4.6 Rate limiting steps during the pumping of a vacuum chamber.

Bibliografia

- A. Roth – Vacuum Technology – North-Holland – 1990
- J.F. O´Hanlon – A User´s Guide to Vacuum Technology, John Wiley & Sons, 2003
- Nagamitsu Yoshimura, *Vacuum technology : practice for scientific instruments*, Springer, 2008
- D.M. Hata, Introduction to Vacuum Technology, Prentice Hall, 2007
- M.H. Hablanian, High-Vacuum Technology, A Practical Guide, CRC Press 1997.
- N.S. Harris – Modern Vacuum Practice – McGraw-Hill, 1989
- S. Dushman & J. M. Lafferty – Scientific Foundations of Vacuum Techniques - John Wiley & Sons – 1966
- A. Guthrie – Vacuum Technology – John Wiley & Sons – 1965
- G. Lewin – Fundamentals of Vacuum Science and Tecnology – McGraw-Hill, 1965

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 P_1 ou P_2 . 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.

$$M_R = (2R_1 + 3R_2 + R_3) / 6$$

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

06 a 11/04 Semana Santa – não haverá aulas

01/05 – Dia do Trabalho – não haverá aulas

12/06 – Recesso escolar – não haverá aulas

Data das Provas

28/04 - 1ª Prova, P_1 , terça-feira

09/06 – 2ª Prova, P_2 , terça-feira

23/06 – Prova substitutiva, P_s terça-feira

Local das Provas: Sala 210 Ala Central

Data de Entrega dos Relatórios até às 12h00min

Relatório 1 - 06/04

Relatório 2 - 18/05

Relatório 3 - 16/06

Seminários

10/03 – Medidores de pressão

01/04 – Bombas de vácuo 1

05/05 – Bombas de vácuo 2

12/05 – Materiais e componentes.

Local: Sala 2015

Horário 19:00 às 20:50

Palestrante: Prof. Luiz Marcos Fagundes

Cronograma do Laboratório

DATA	ATIVIDADE
06/03/20	Aula Introdutória
09/03/20	1º Ciclo de Experimentos – aula 1/3
16/03/20	1º Ciclo de Experimentos – aula 2/3
23/03/20	1º Ciclo de Experimentos – aula 3/3
06/04/20	ENTREGA DO RELATÓRIO 1
13/04/20	2º Ciclo de Experimentos – aula 1/3
20/04/20	2º Ciclo de Experimentos – aula 2/3
04/05/20	2º Ciclo de Experimentos – aula 3/3
18/05/20	ENTREGA DO RELATÓRIO 2
18/05/20	Aula de Componentes, Materiais e Vazamentos – Pelletron
01/06/20	Laboratório de Filmes Finos do Acelerador Pelletron
16/06/20	ENTREGA DO RELATÓRIO 3

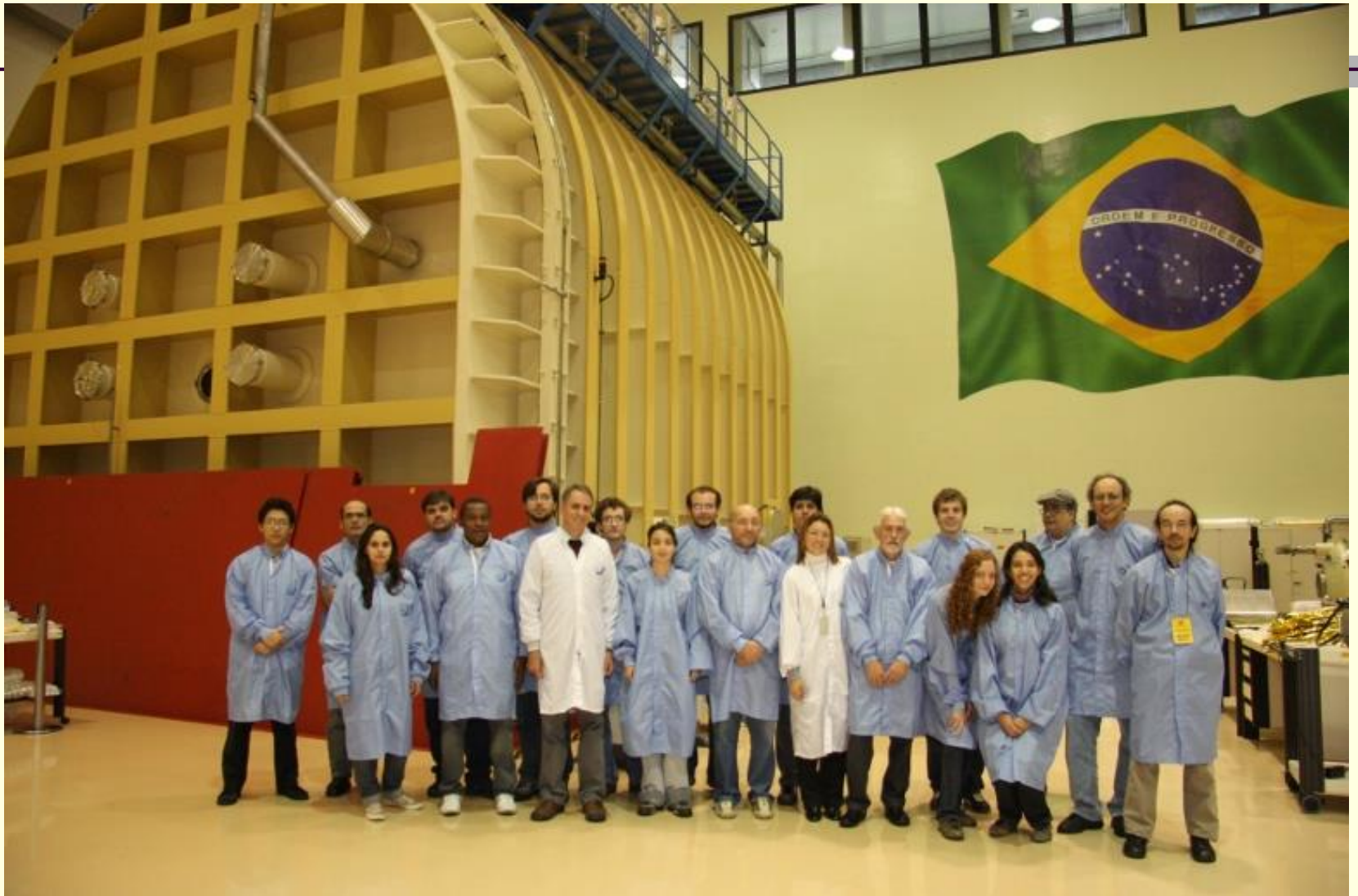
Visita ao INPE 2005



2007



2009



Visita ao INPE em 2016



Visita ao INPE 2020

Dia 15 de Junho de 2020 –
segunda-feira

Partida às 7 horas do IFUSP
Volta às 18 horas



Nilberto H. Medina
Universidade de São Paulo
Instituto de Física

