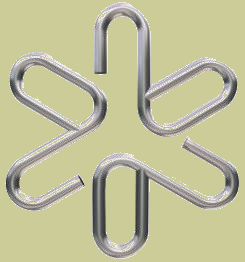


# Ciência e Tecnologia do Vácuo



2022



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/cm<sup>3</sup> ).

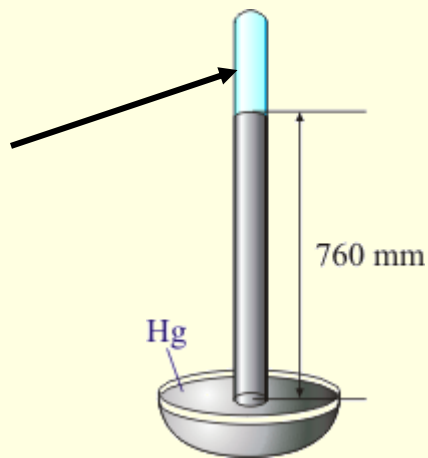
# Resumo Histórico

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

Aristóteles (384 – 322 a.C.)

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

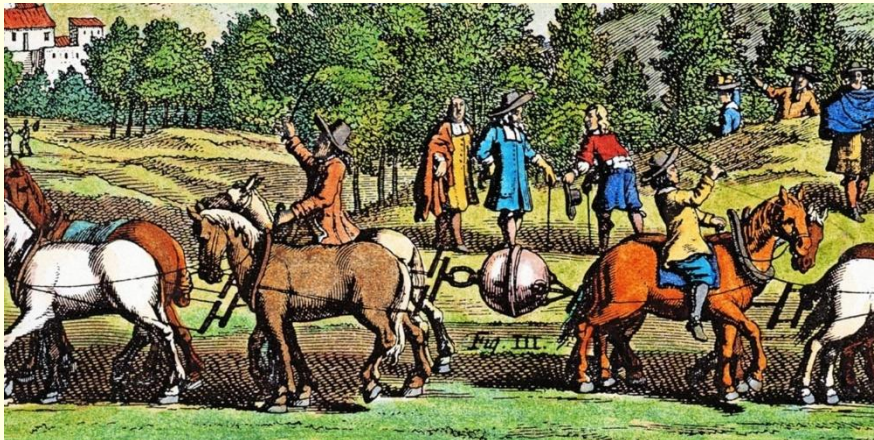
1º vácuo  
produzido  
(1643 ?)



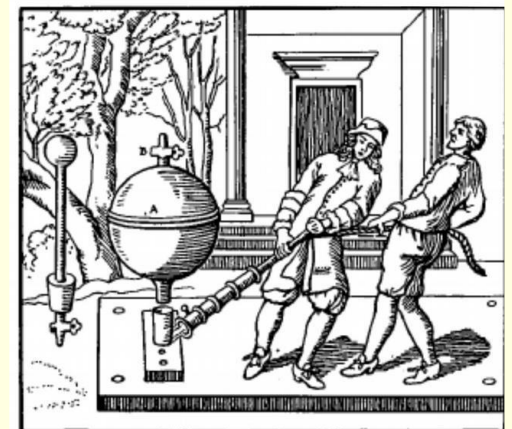
# Resumo Histórico

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

Primeiros modelos de Otto von Guericke - 1640



Quora.com

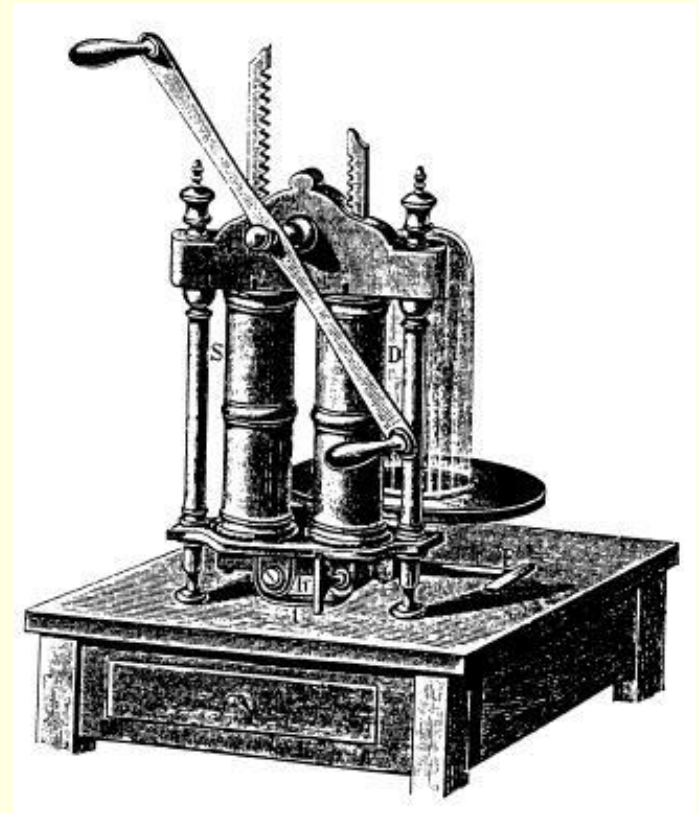




**Joseph Wright's painting (1768) of a popular after-dinner demonstration of the effects of vacuum on a small animal. The effects of the lack of atmosphere on a cockatoo is being observed and air was then admitted just in time (in most cases) to save the creature's life.**

# Resumo Histórico

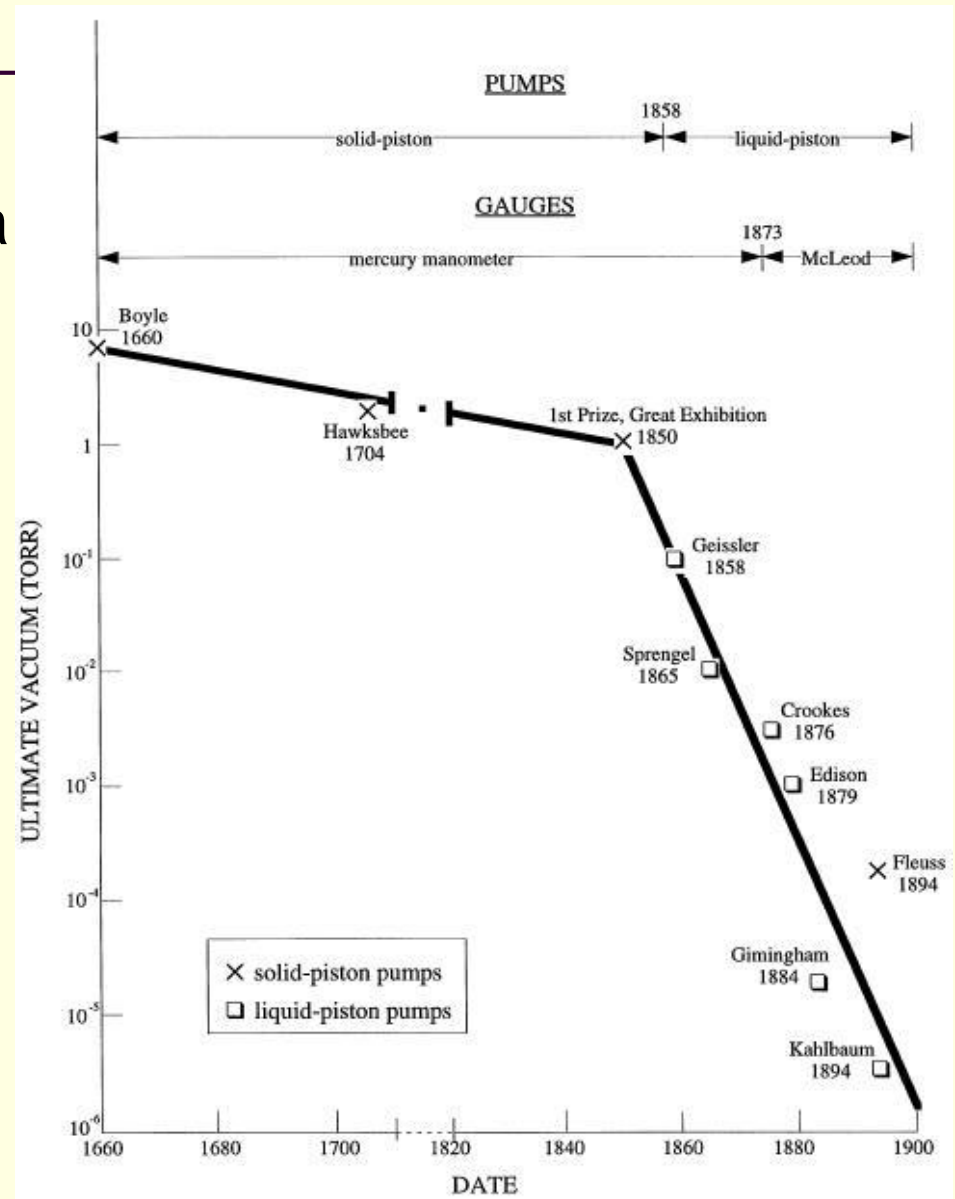
- Maiores esforços concentravam-se no desenvolvimento das bombas de vácuo
- Bombas de pistão duplo começam a ser comercializados (1850).
- Emprego da tecnologia de vácuo na indústria



Bomba de 2 pistões  
1850

# Resumo Histórico

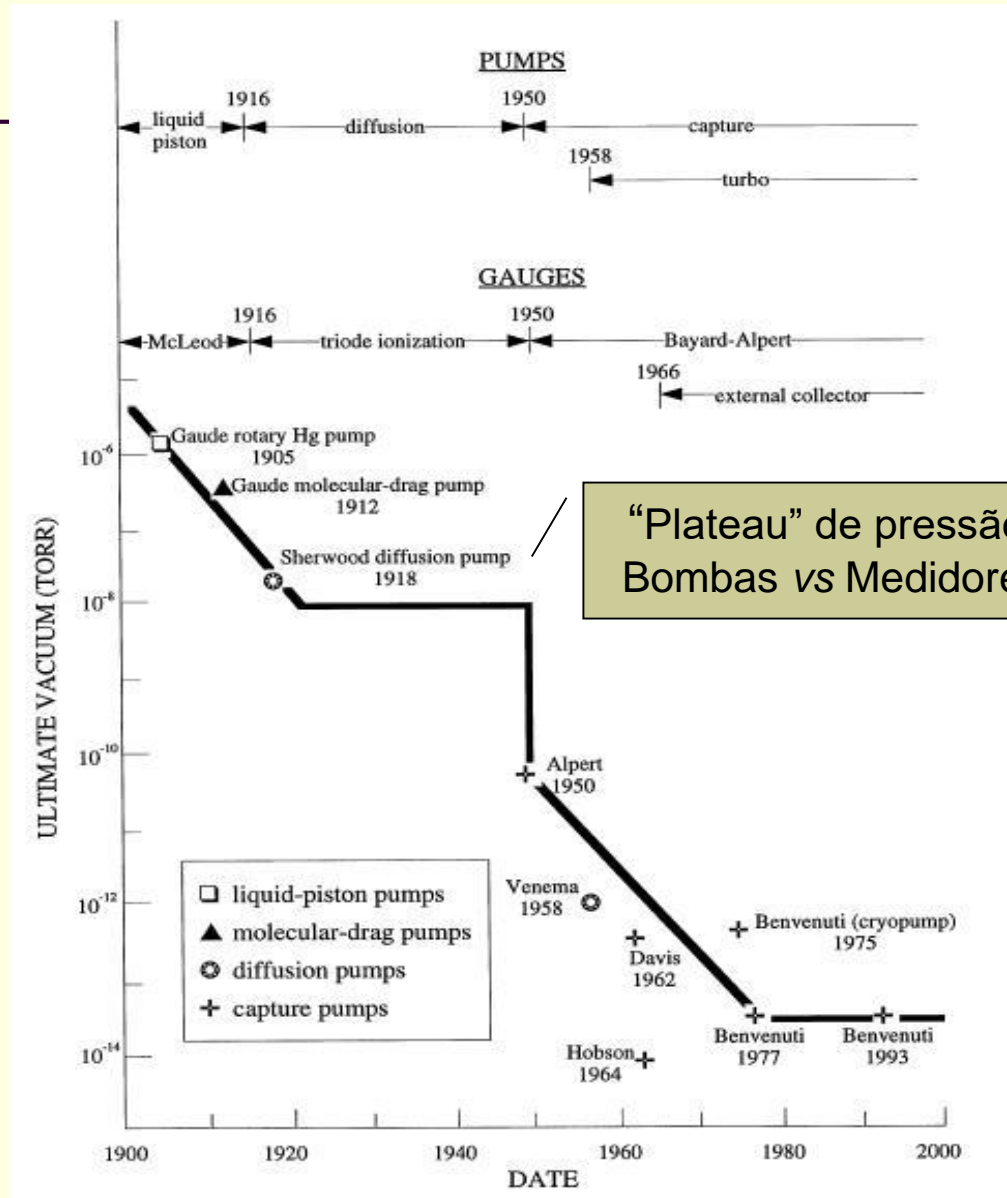
- Panorama da evolução da tecnologia de vácuo até 1900





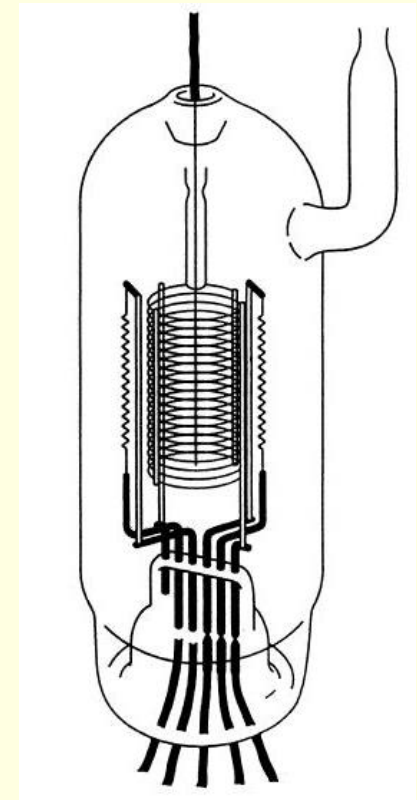
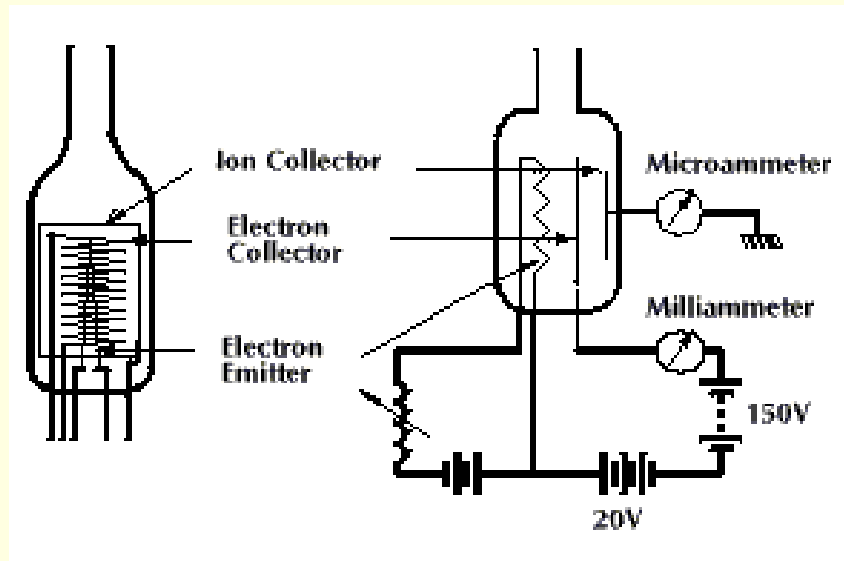
# Resumo Histórico

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



# Resumo Histórico

- 1950 – Tríodo 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/cm<sup>2</sup>) e Pa (N/m<sup>2</sup>)

1 atm = 760 mmHg

1 mmHg = 1 Torr

1 bar (dina/cm<sup>2</sup>) = 100000 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  $\rightarrow$  5 cm

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

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

# Unidades

## Tabela de conversão

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

# Conceitos Gerais

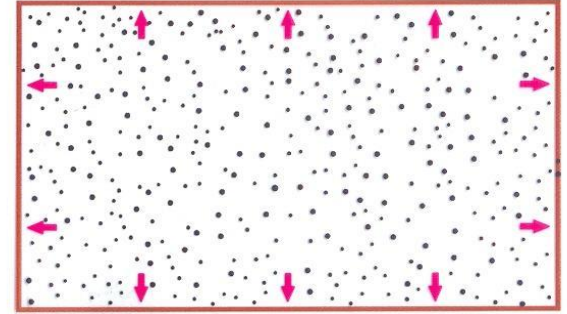
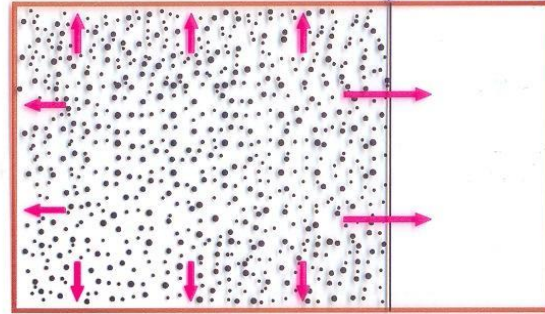
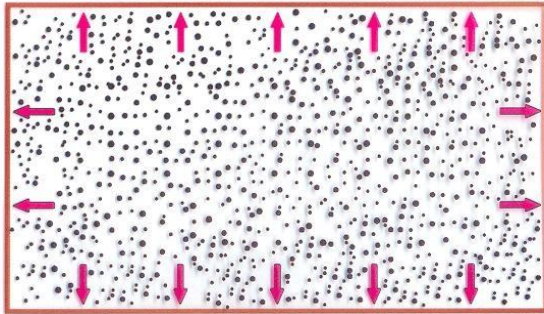
- Alguns dados à temperatura ambiente

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 $\mu\text{m}$	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 $\text{cm}^2/\text{s}$	$3,0 \times 10^{23}$	$3,5 \times 10^{17}$	$3,5 \times 10^{12}$	$3,5 \times 10^{10}$	$3,5 \times 10^8$	$3,5 \times 10^6$	$3,5 \times 10^4$

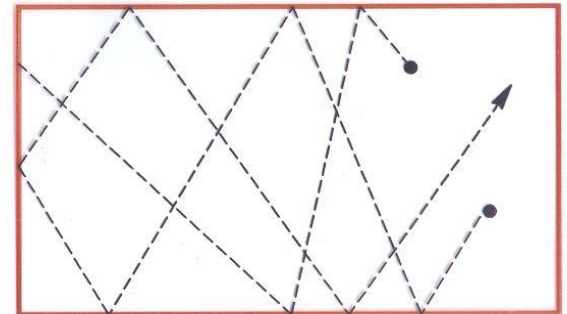
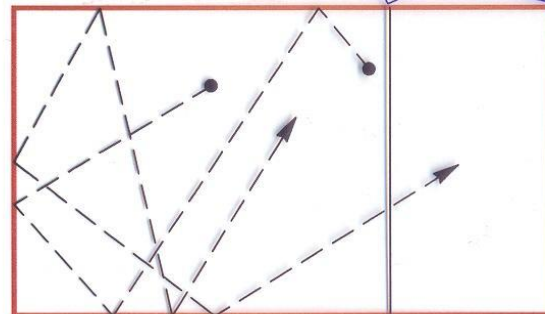
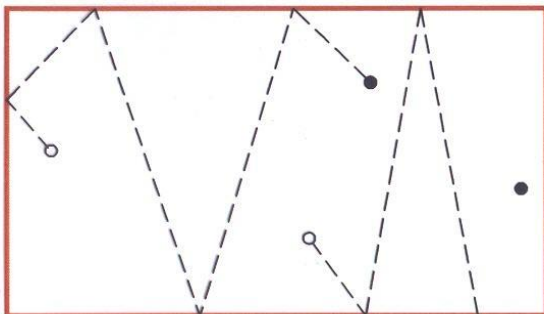
$$\lambda = \frac{5 \times 10^{-3} \text{ cm}}{P(\text{Torr})}$$

# 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,  
 $\lambda$  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,  
 $\lambda$  grande,  $\lambda \gg D$

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



# Conceitos Gerais

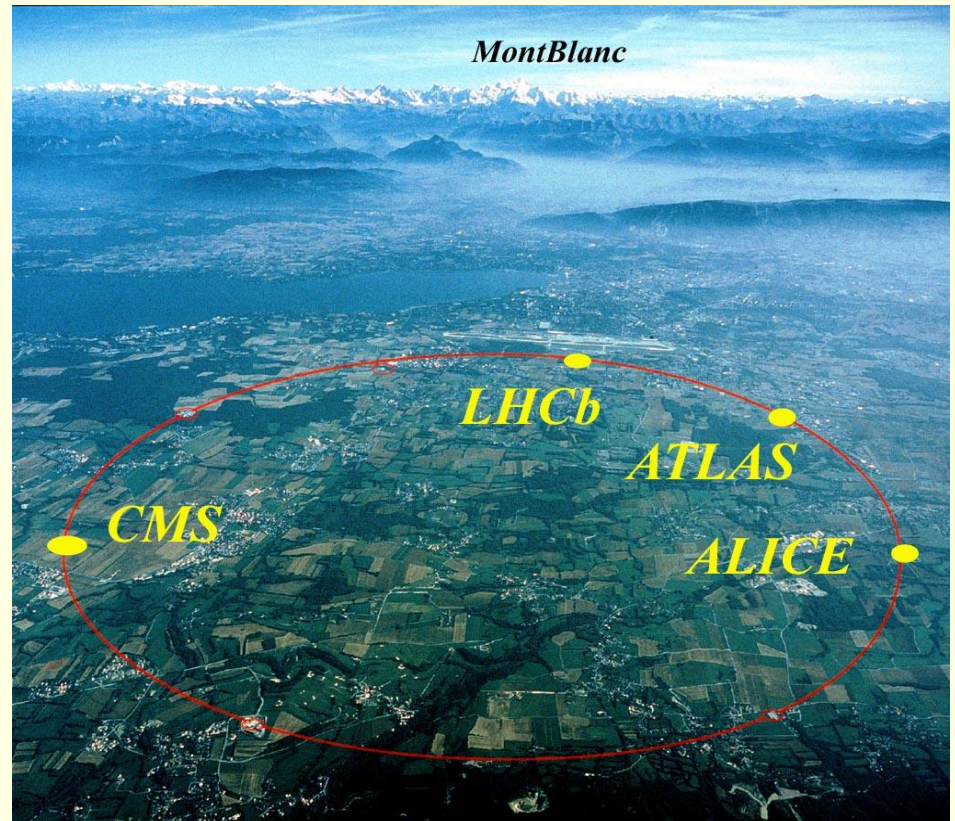
## ■ Grandes aceleradores

Ultra alto vácuo

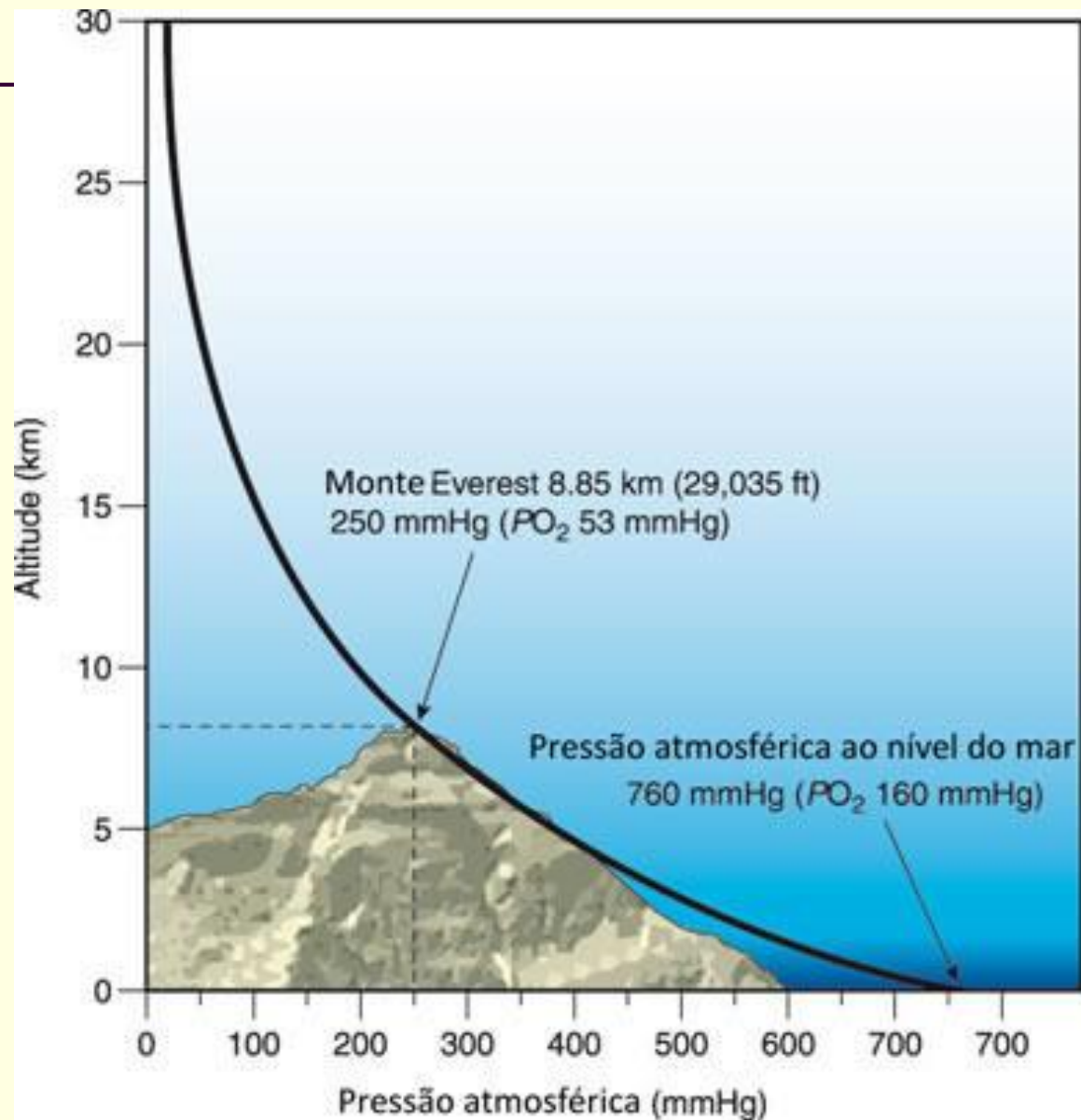
RHIC



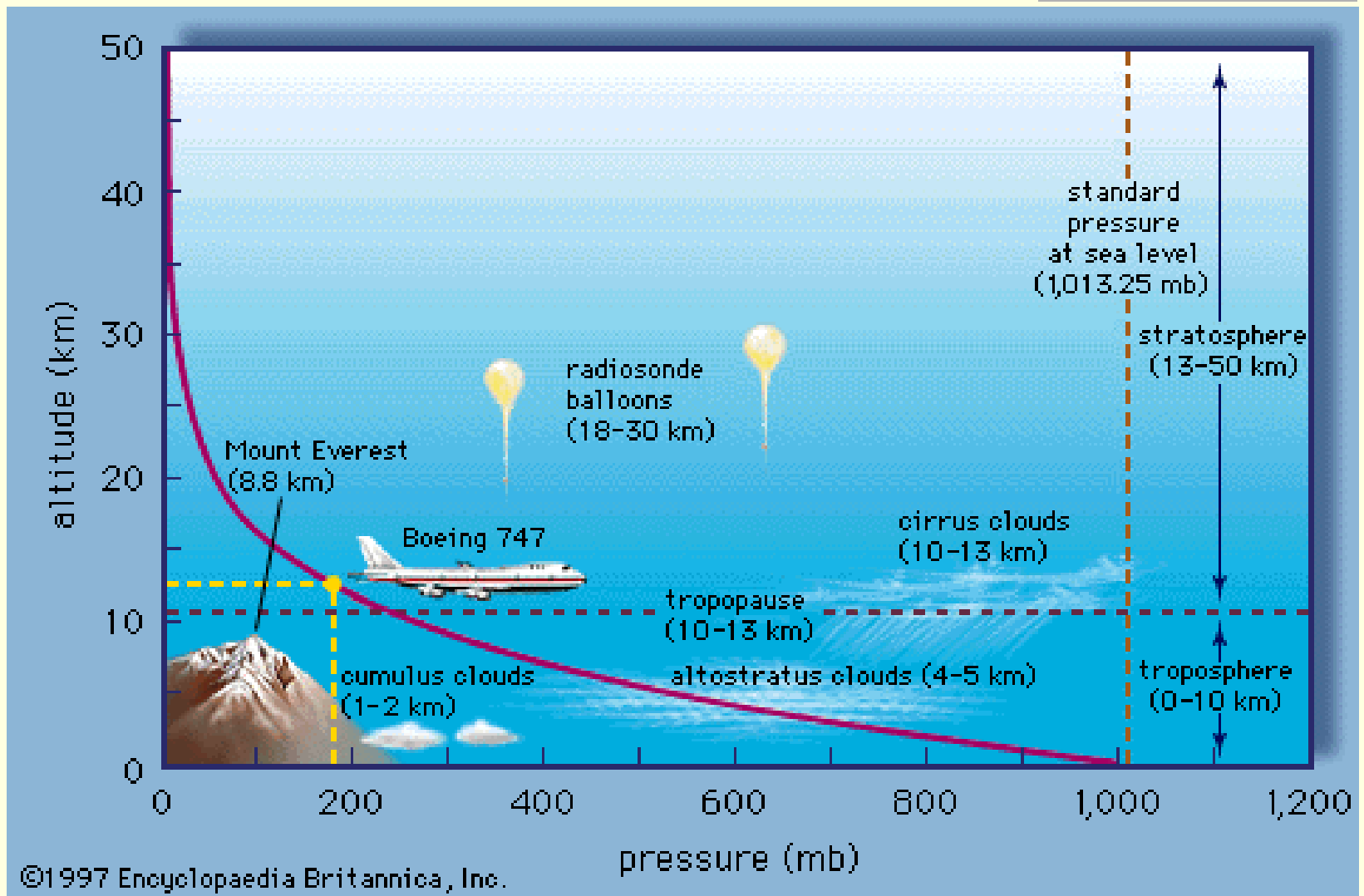
CERN



# Conceitos Gerais

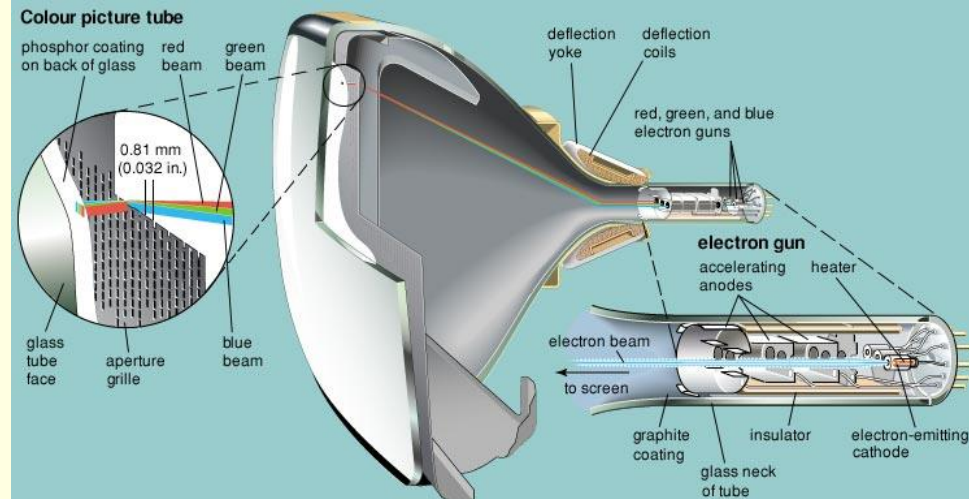


# Conceitos Gerais



# 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
Large mean free path	Decrease energy transfer	Thermal insulation, Electrical insulation
	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): 2007, 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

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/>

edisciplinas.usp.br      <https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=96176> (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

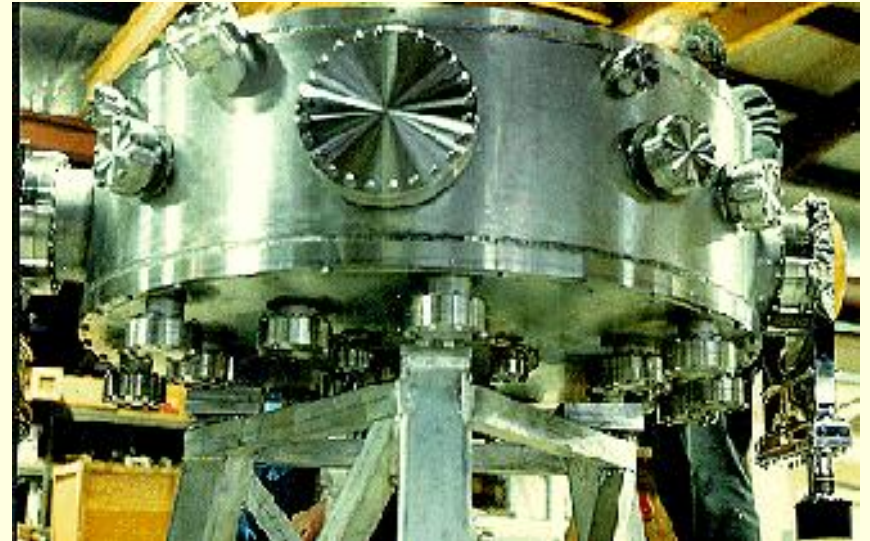
Permeação e desgaseificação

Evaporação

Cálculos de Sistemas de Vácuo e Aplicações

# Sistemas de Vácuo

## Exemplos

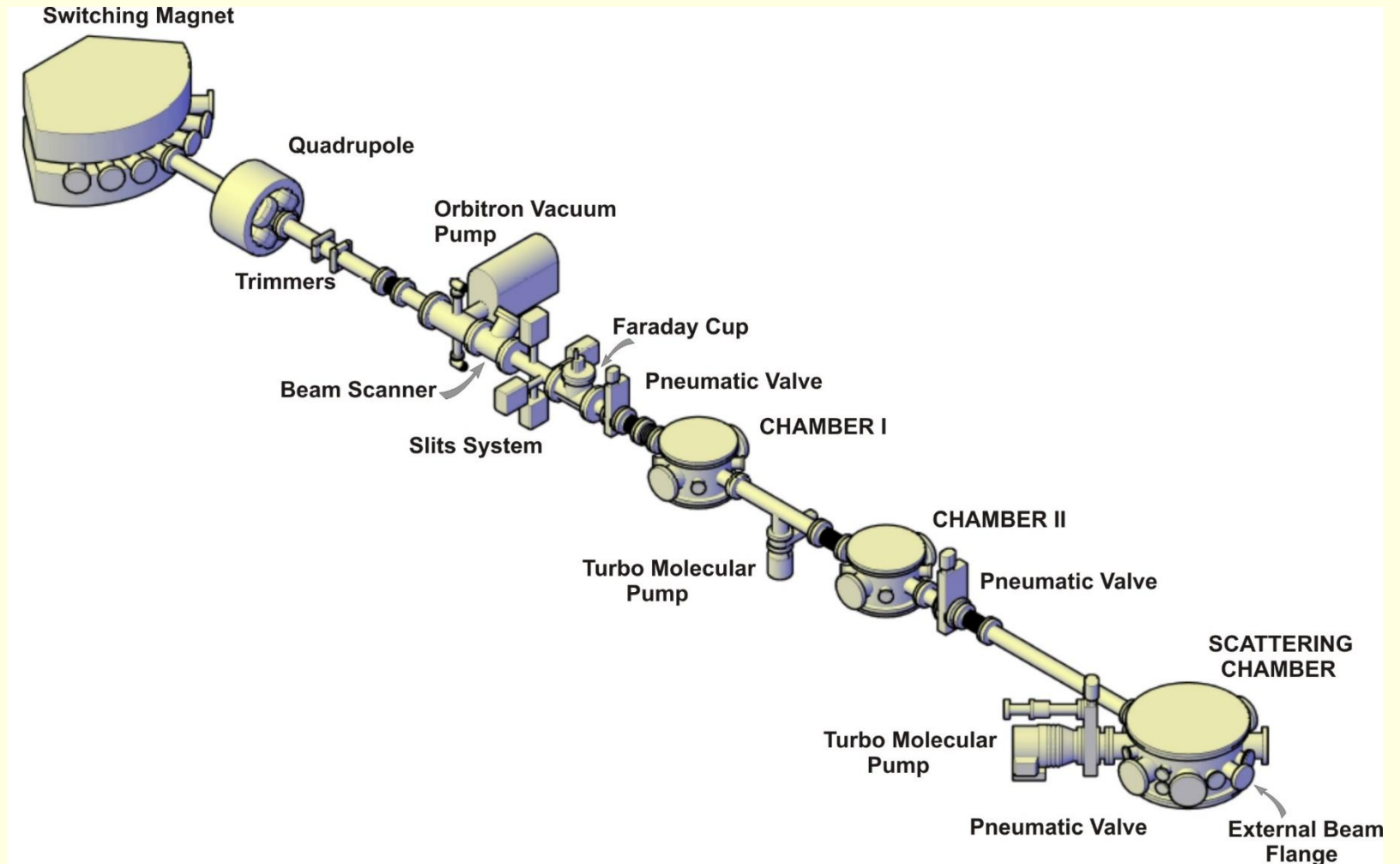




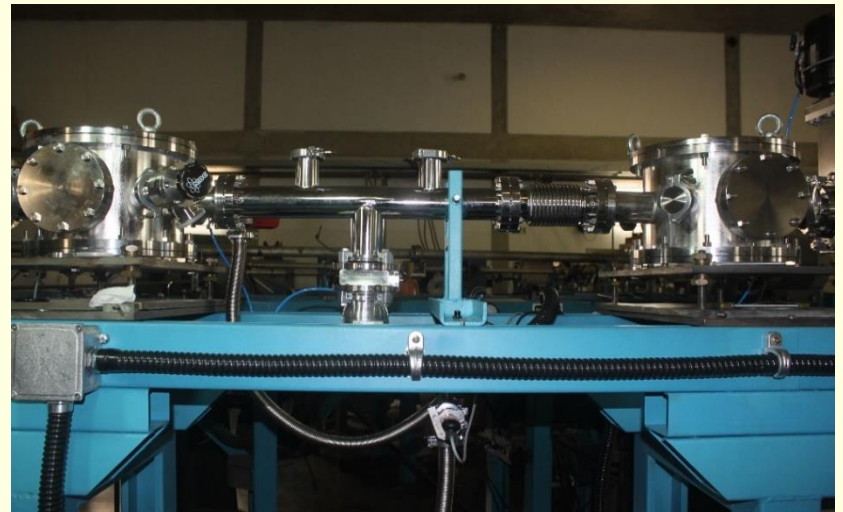
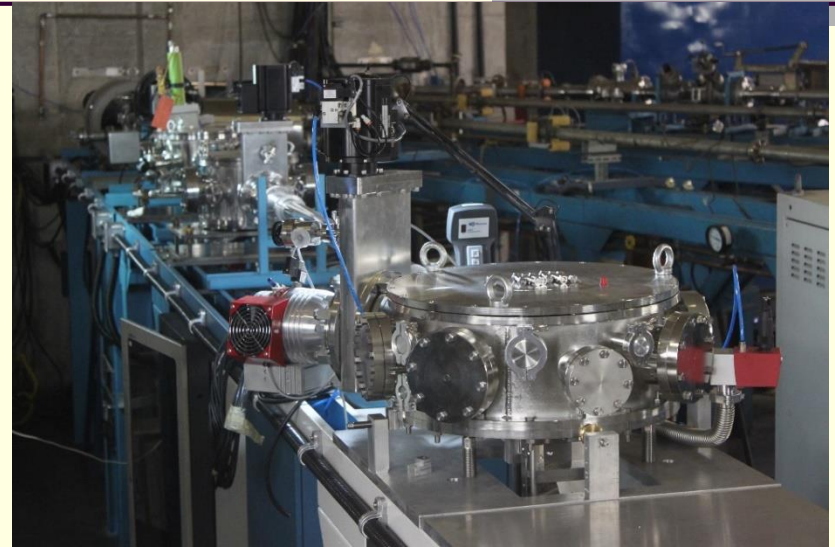
# Sala Experimental do acelerador Pelletron



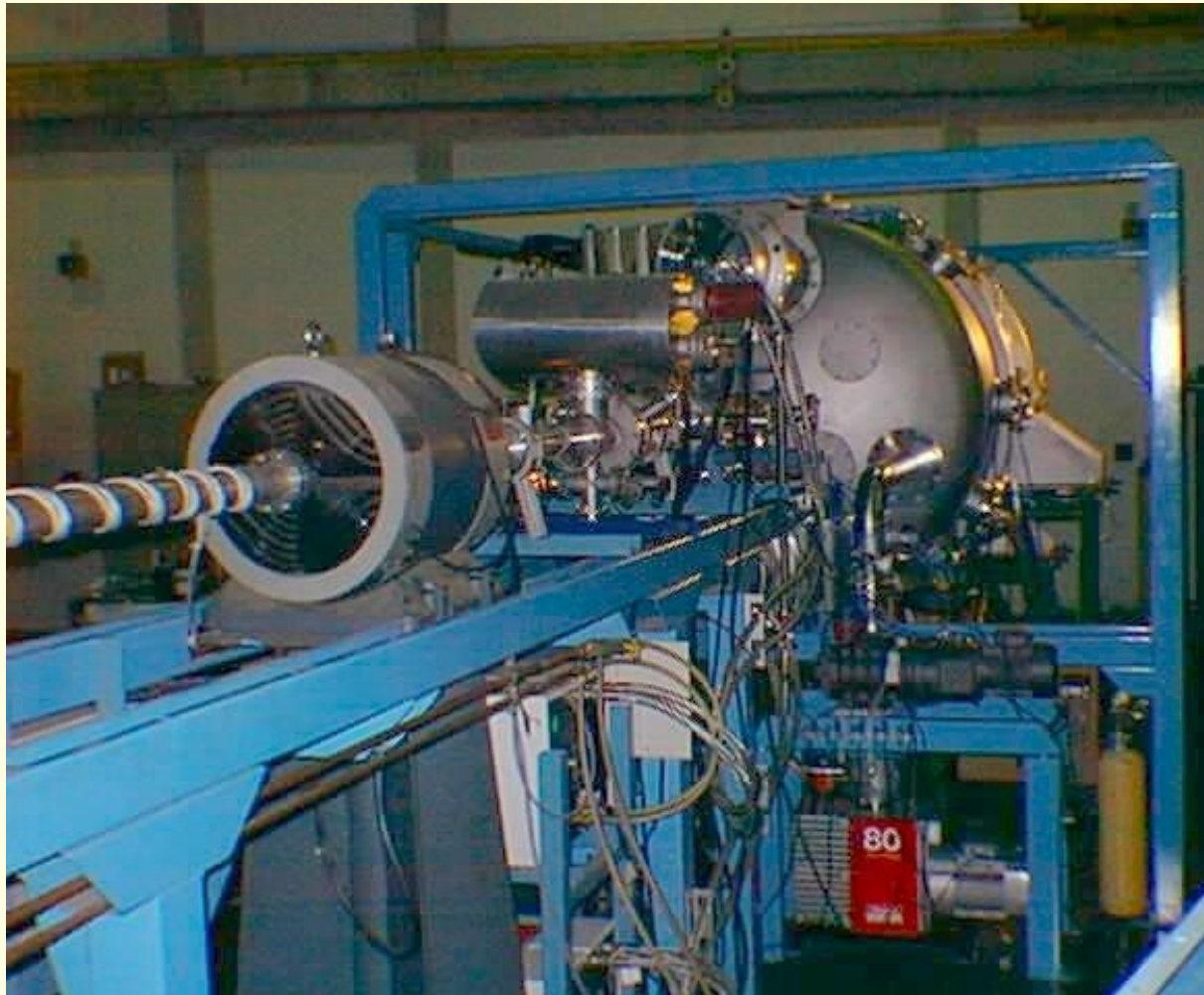
# Canalização 0° do Acelerador Pelletron



# Canalização 0° do Acelerador Pelletron

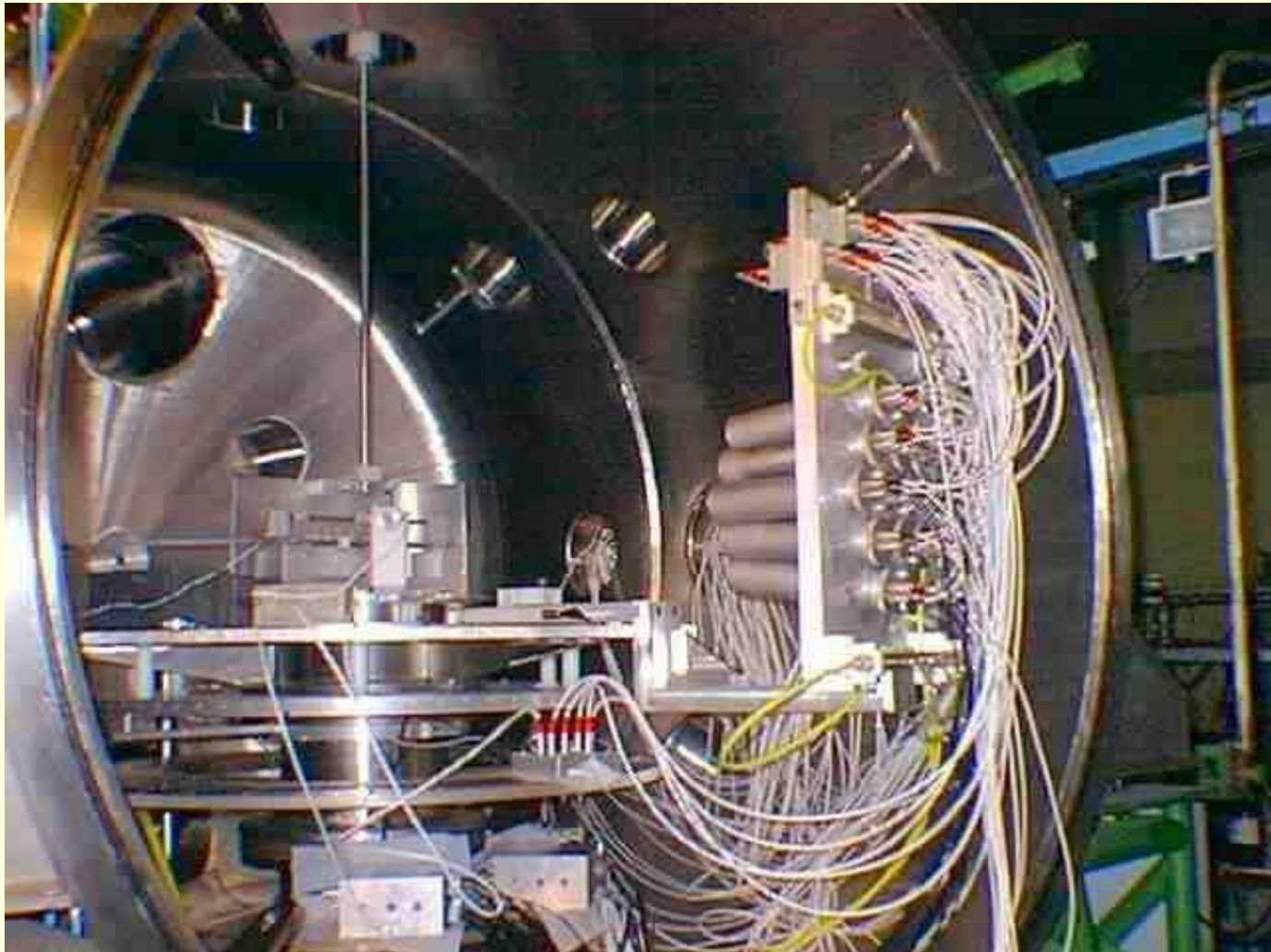


# Canalização 15° do Acelerador Pelletron

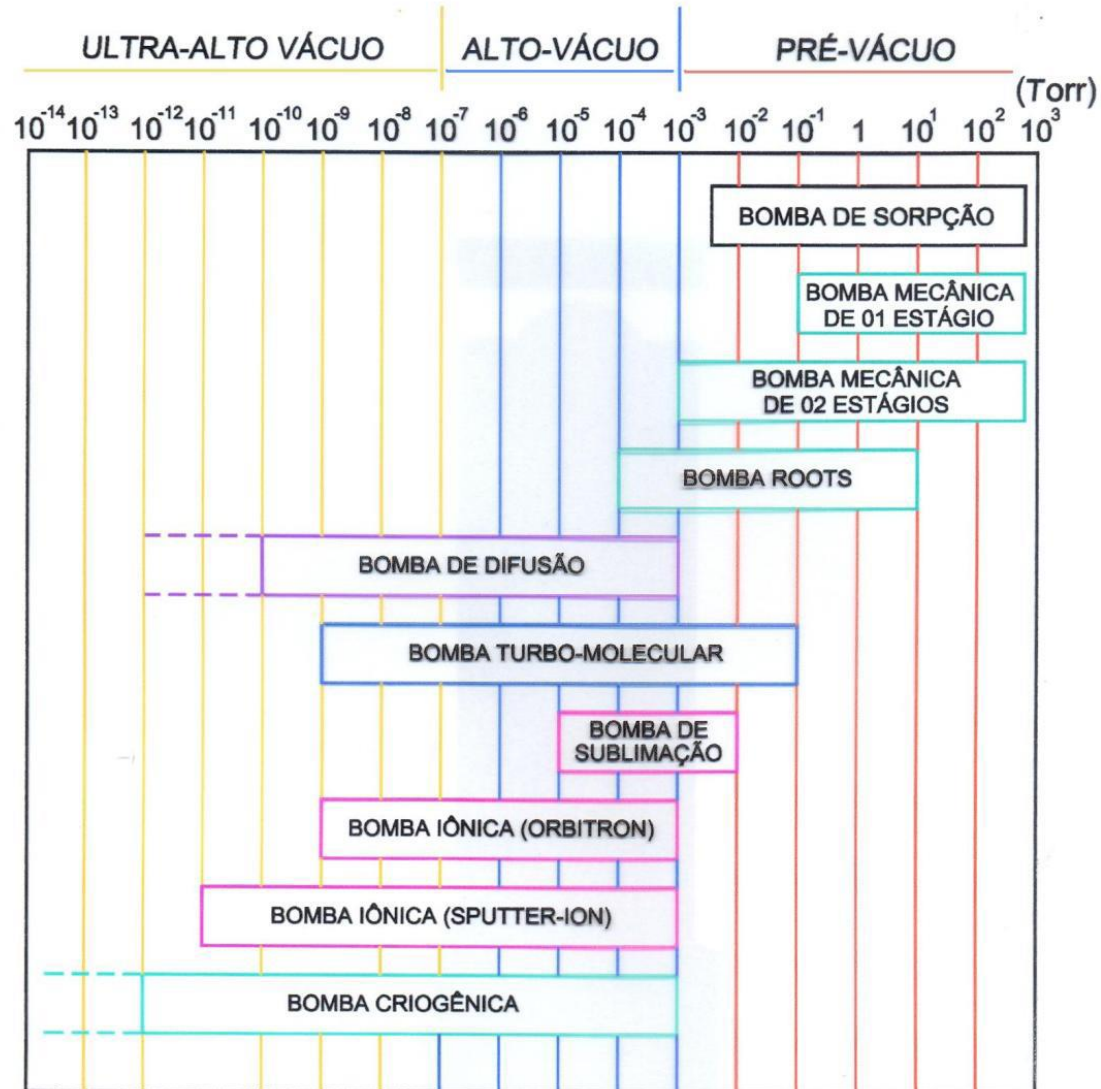


Atualmente está sendo montada no novo acelerador LINAC

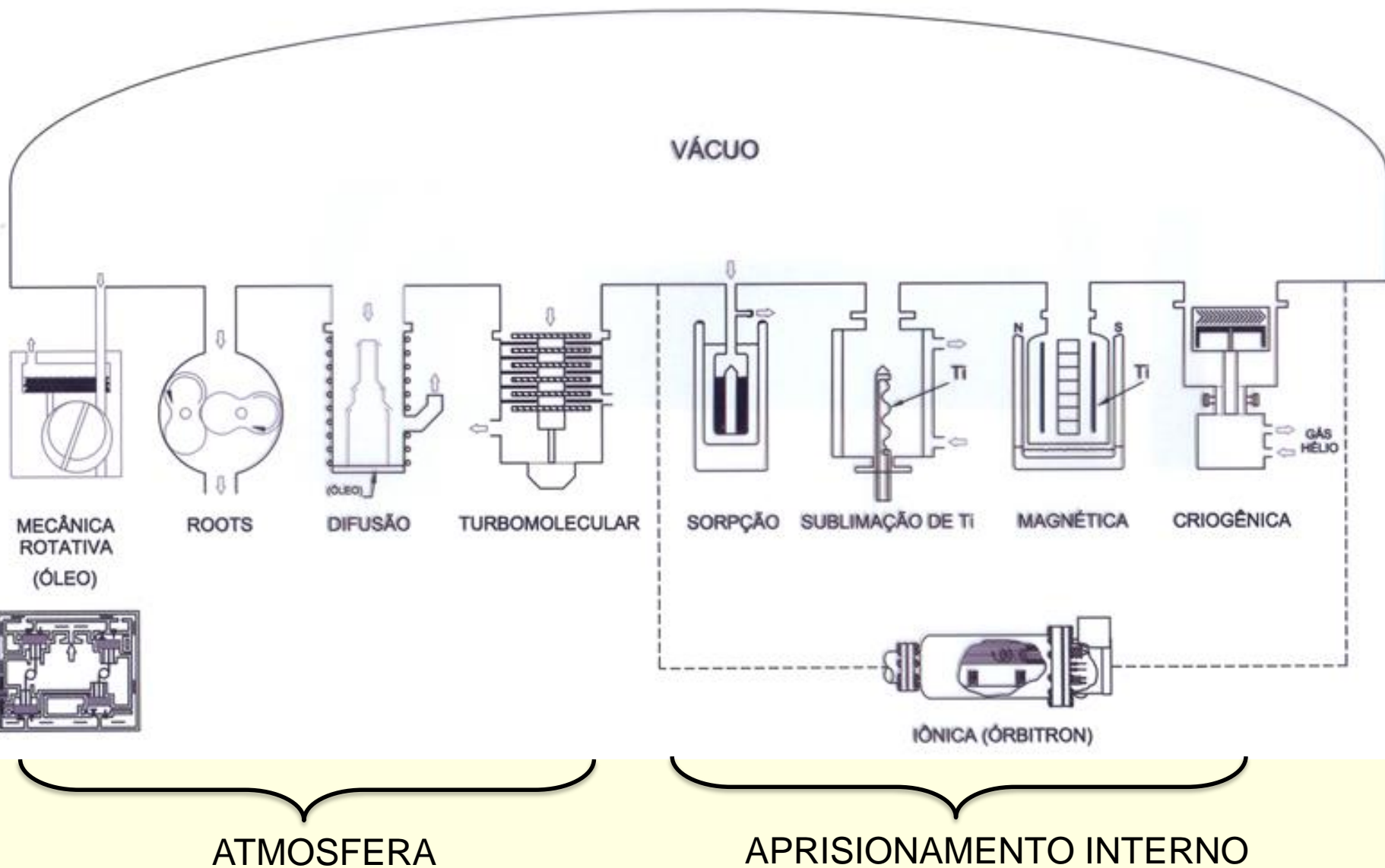
# Interior de uma Câmara de Espalhamento



# Bombas de Vácuo



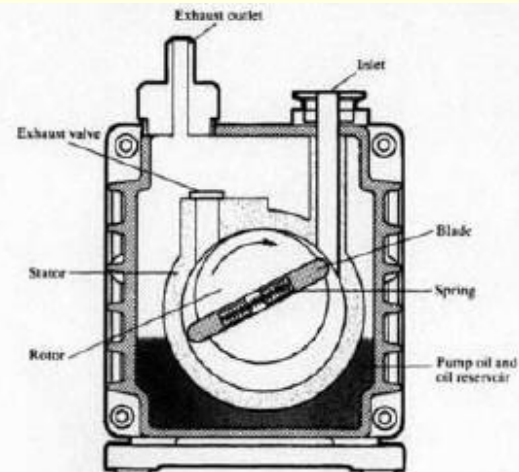
# Bombas de Vácuo



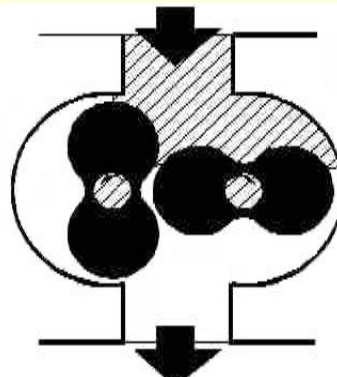
# Pré-vácuo

## Bombas mecânicas

### Bombas rotativas



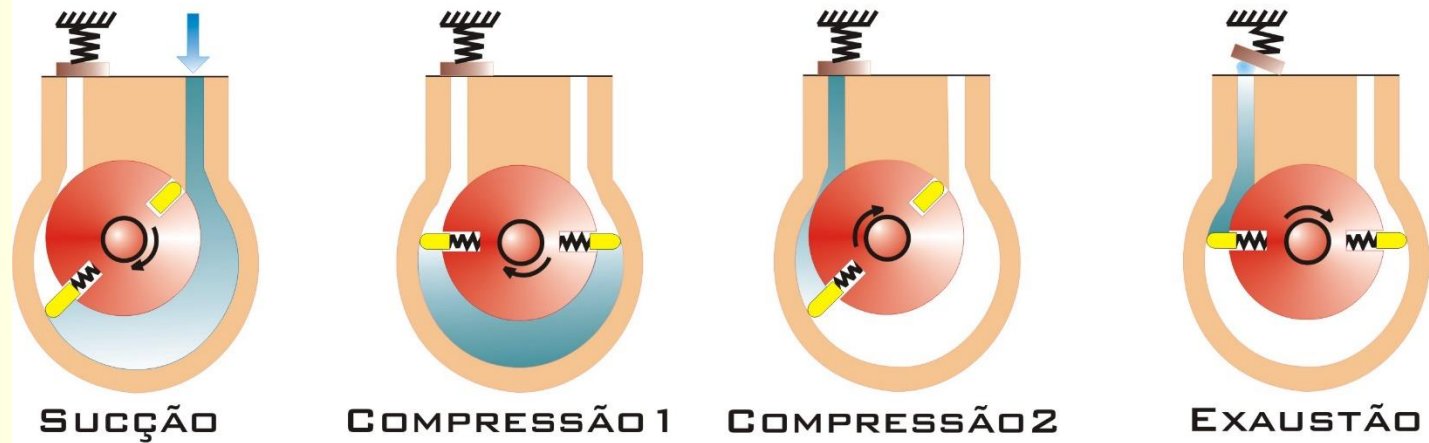
### Bombas roots



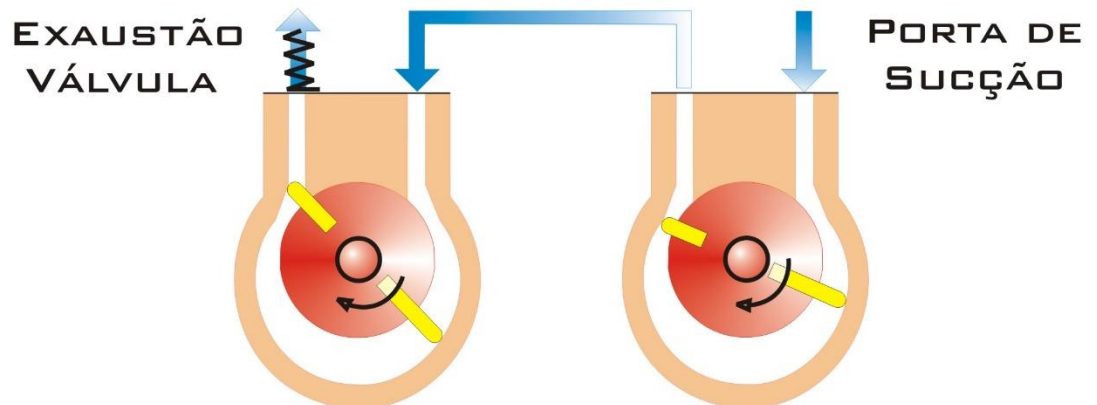


# Bomba rotativa

## 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

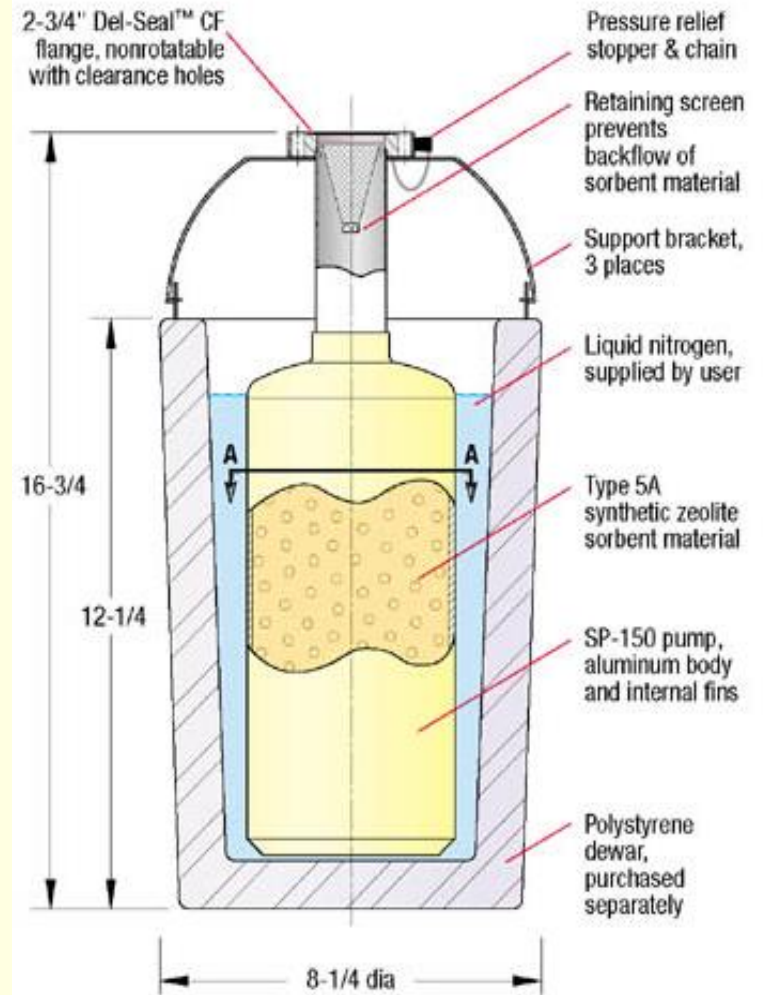
# Bomba Scroll

---



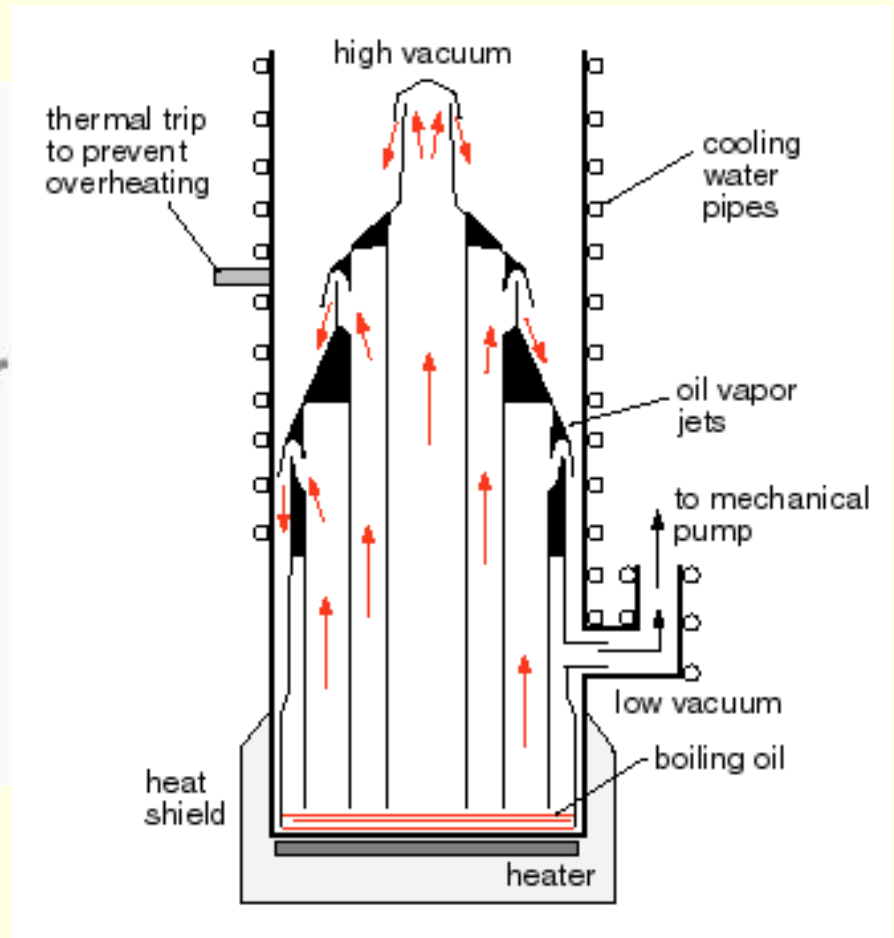
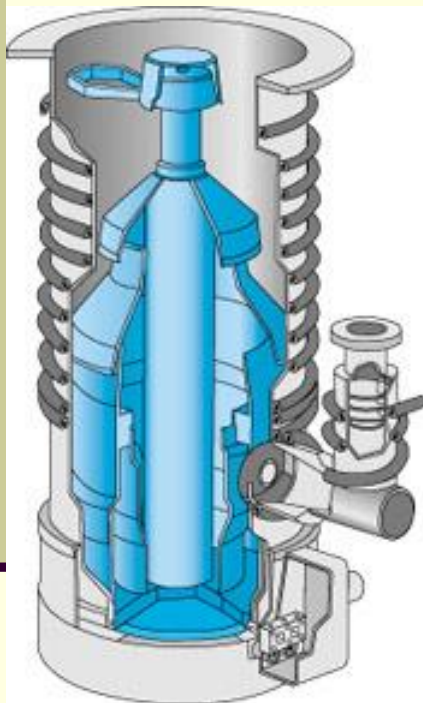
# Pré-vácuo

## Bombas de sorção



# Alto-vácuo

## Bomba Difusora



# Exemplos de Bombas Difusoras



Acelerador de Partículas

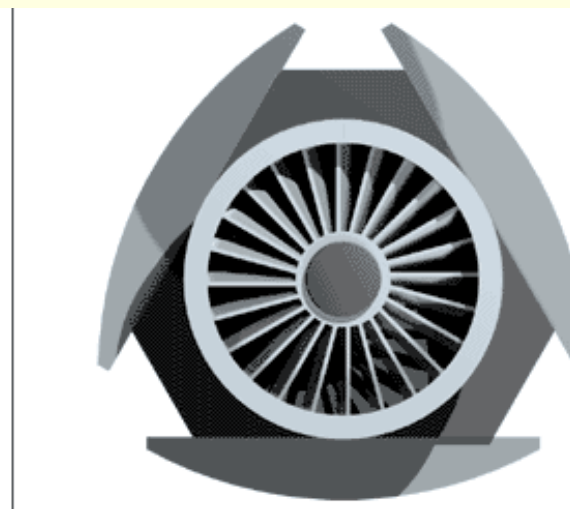
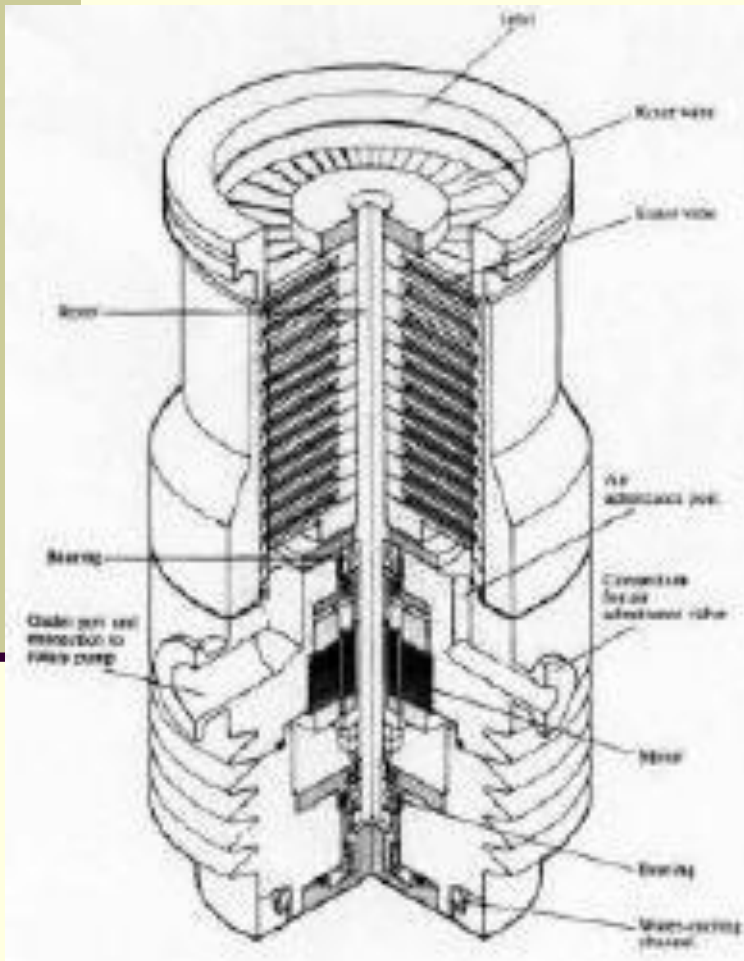
Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia



<https://www.ivicorp.com/diffusion-pumps/>

# Alto-vácuo

## Bomba Turbo-molecular



# Bomba Turbo Molecular - Pfeiffer

PFEIFFER VACUUM



<https://www.youtube.com/user/PfeifferVacuum>

# Alto-vácuo

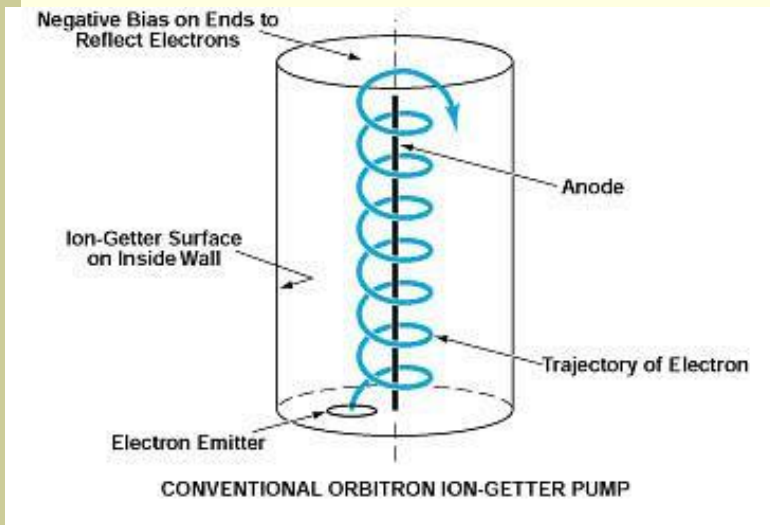
Bomba criogênica



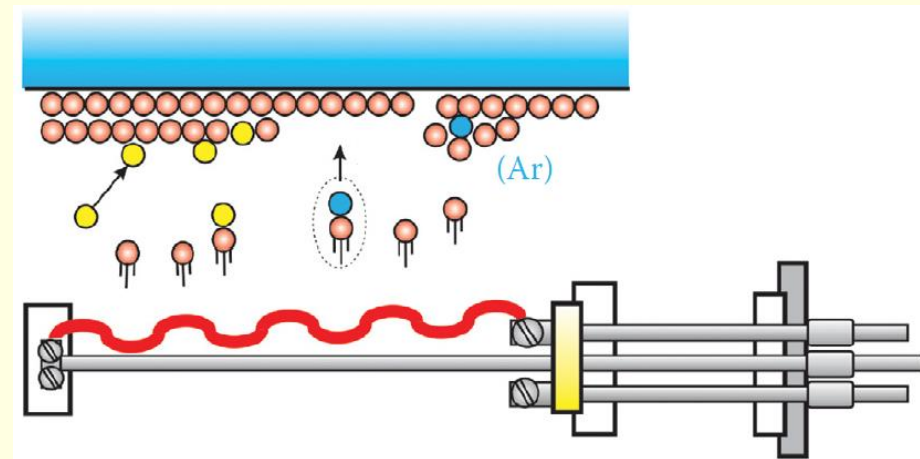


# Alto-vácuo

## Bomba iônica (orbitron)



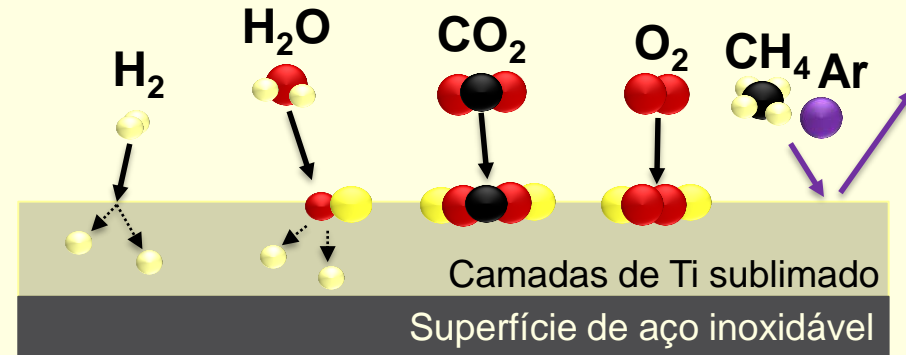
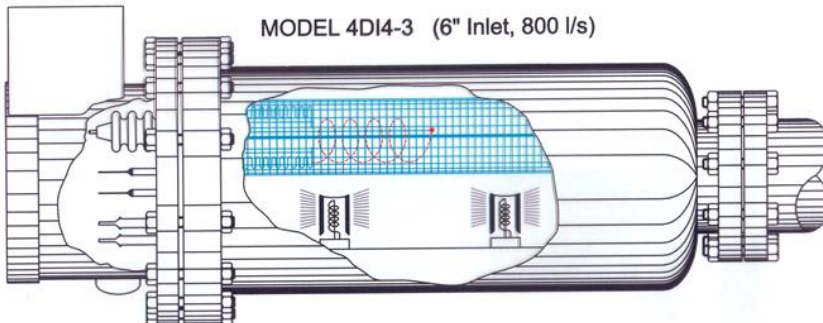
## Bomba de sublimação



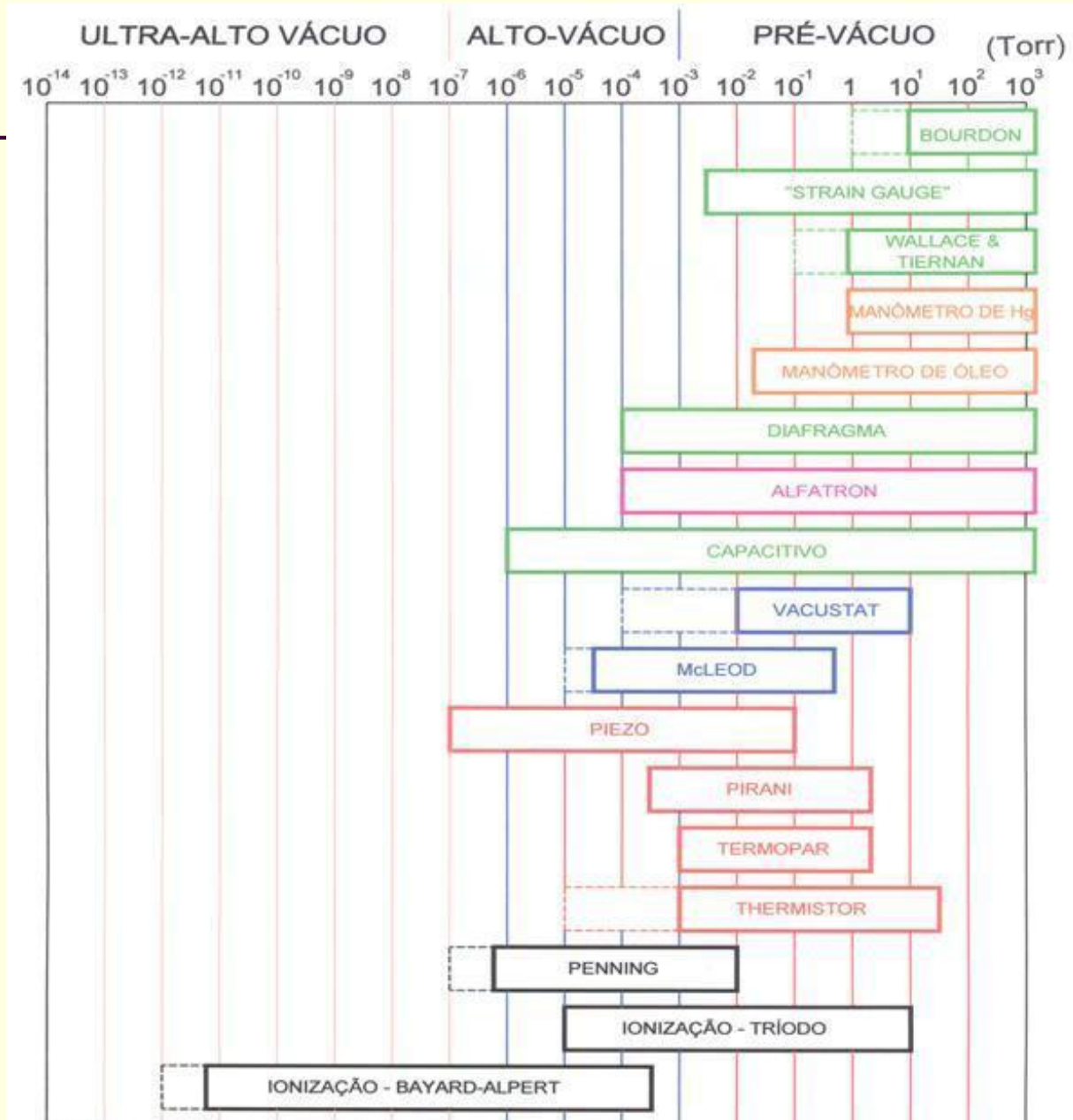
### NEC GETTER-ION PUMP

MODEL 4DG4-3 (4" Inlet, 400 l/s)

MODEL 4DI4-3 (6" Inlet, 800 l/s)



# Medidores de Pressão



# Manômetros mecânicos

---

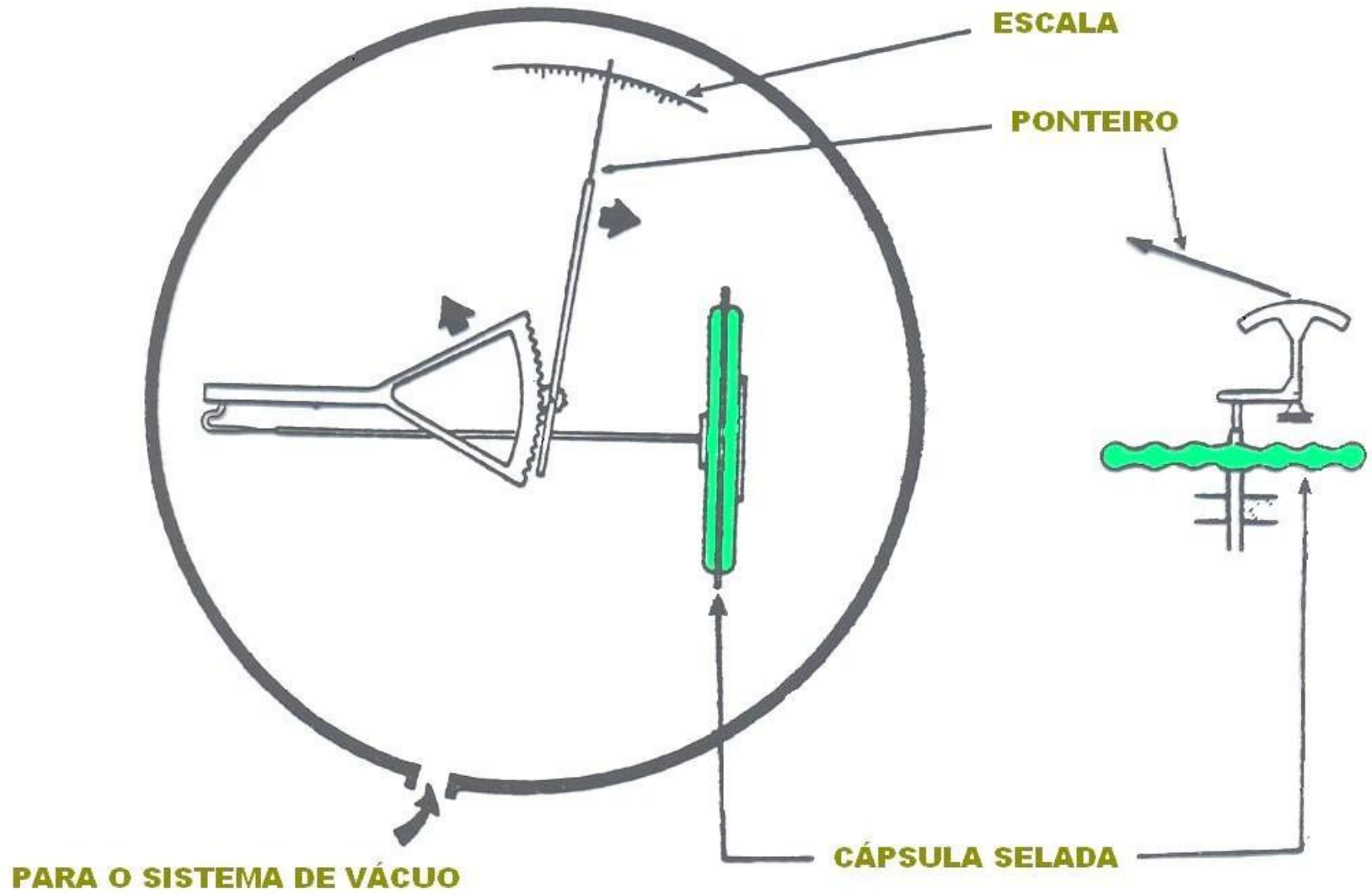
Bourdon



Wallace-Tiernan

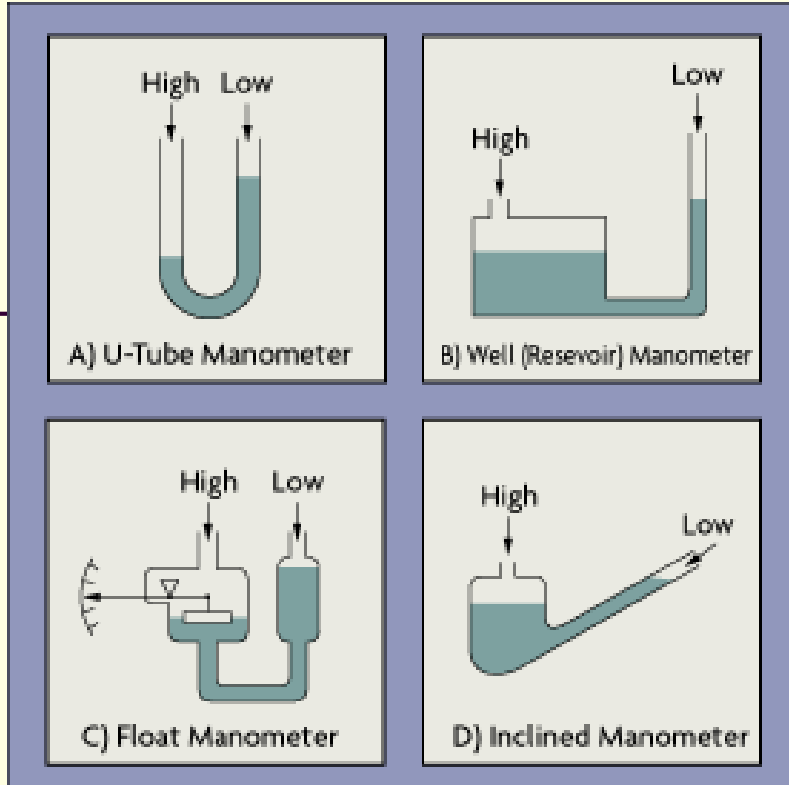
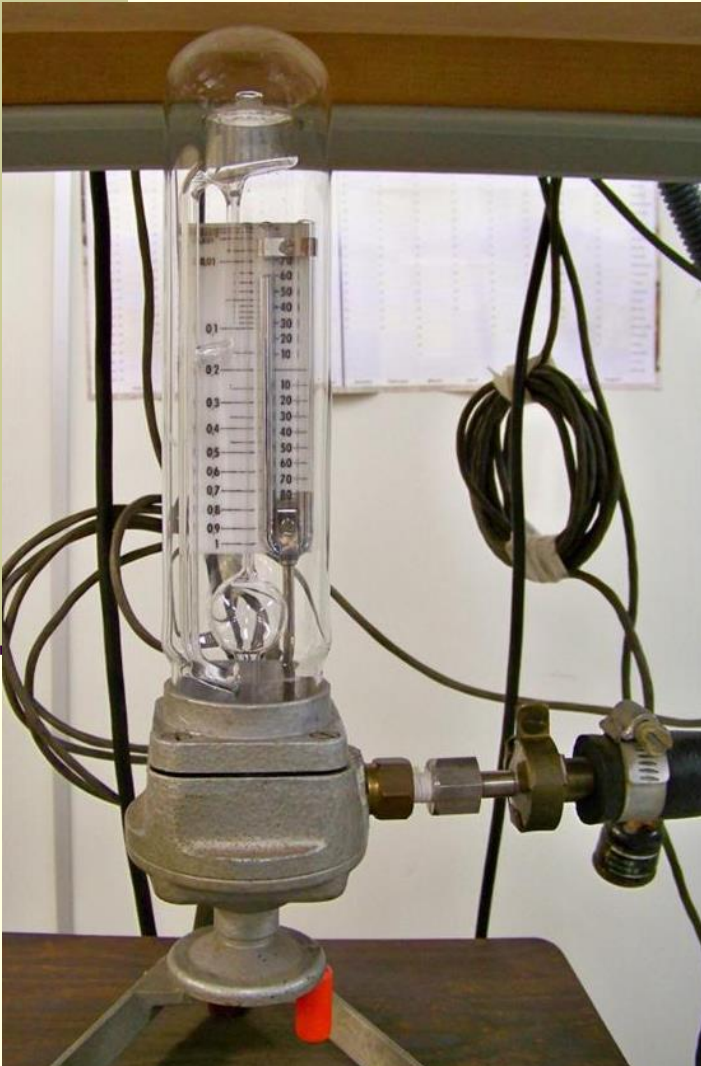


# Wallace-Tiernan

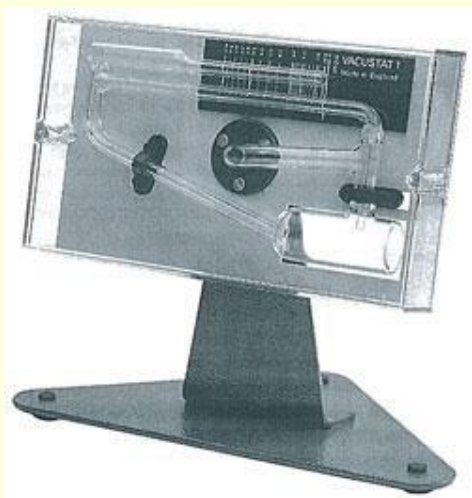


# Manômetros de mercúrio

Kammerer (McLeod + Tubo em U)

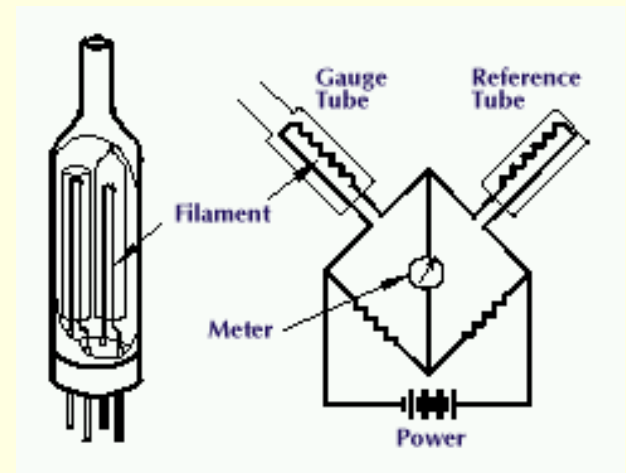
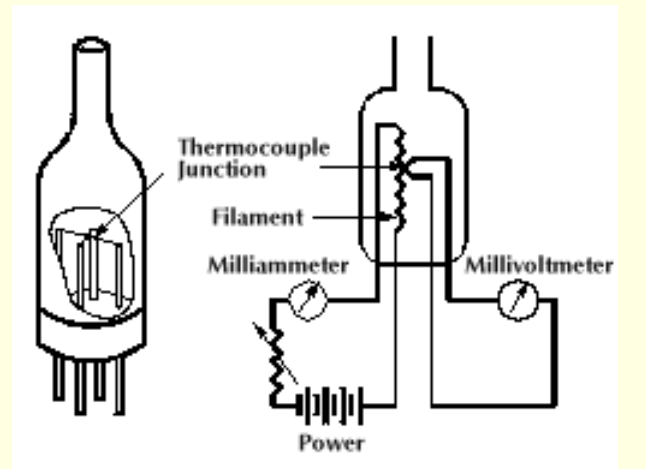


Vacustat

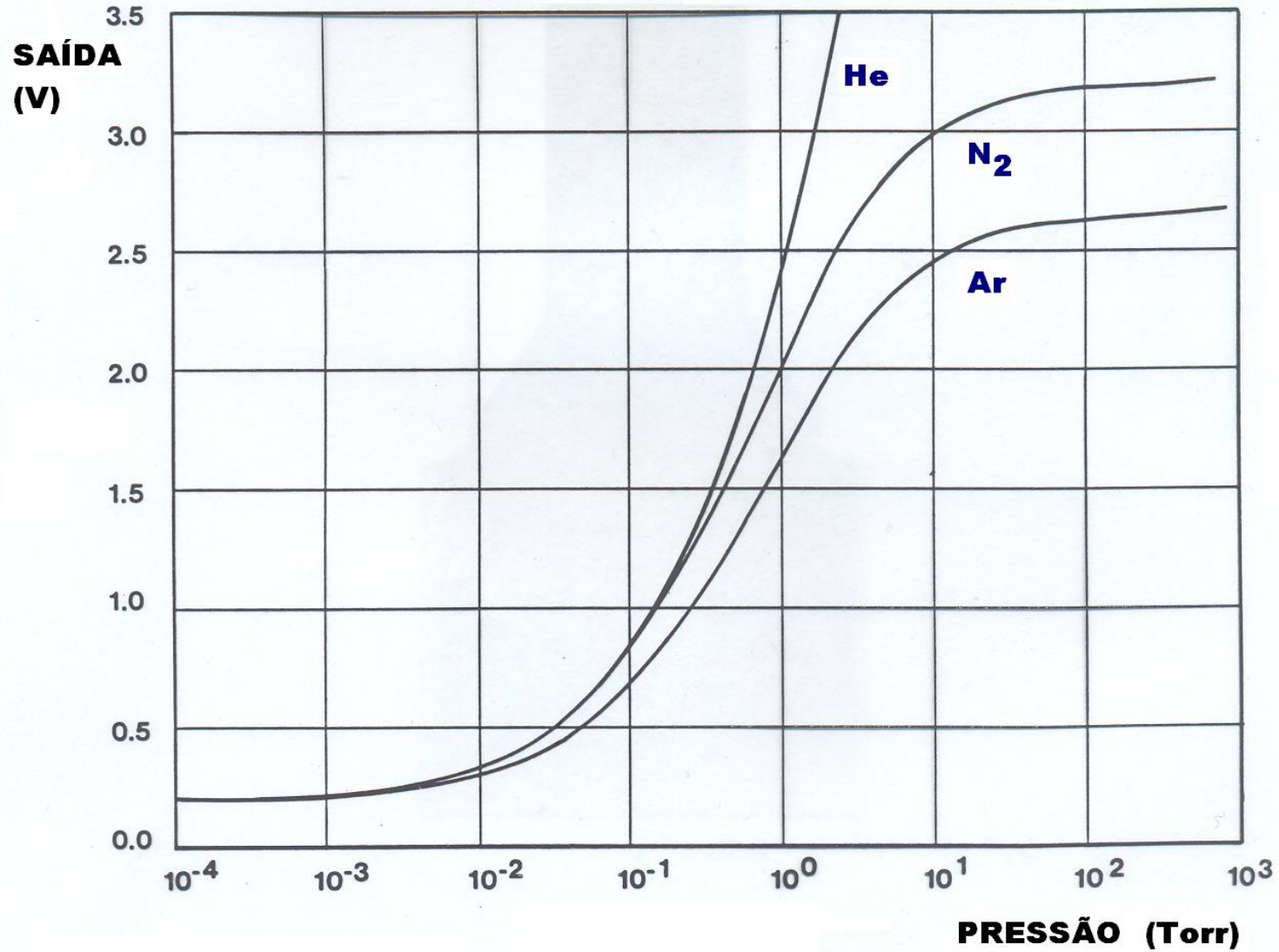


# Manômetros de termo-condutividade

Termopar, Pirani e thermistor

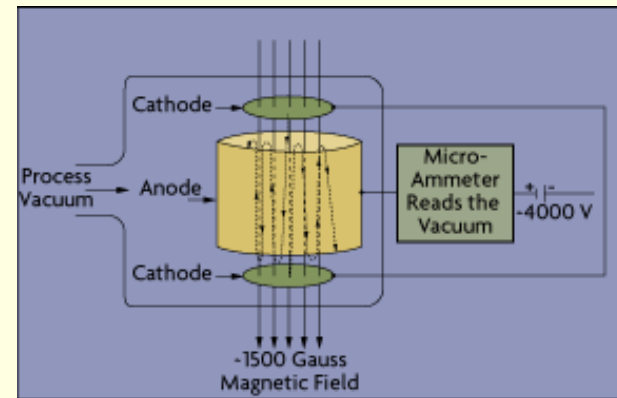
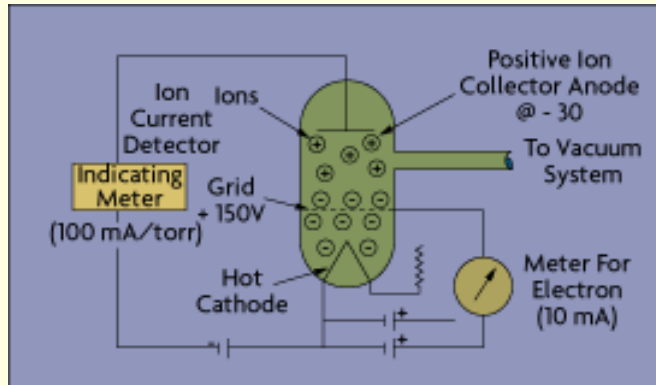


# PIRANI – CURVA DE RESPOSTA



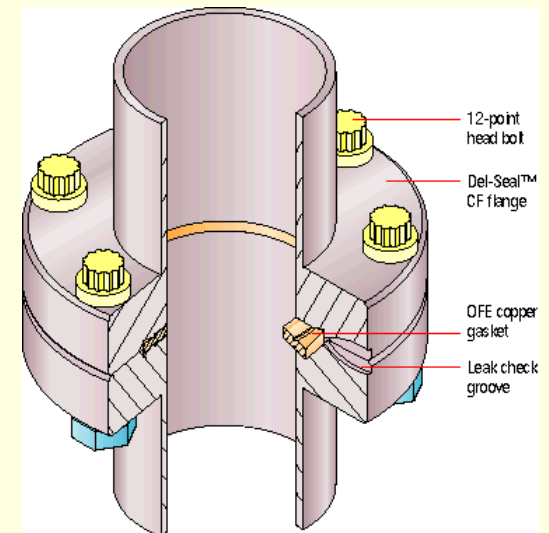
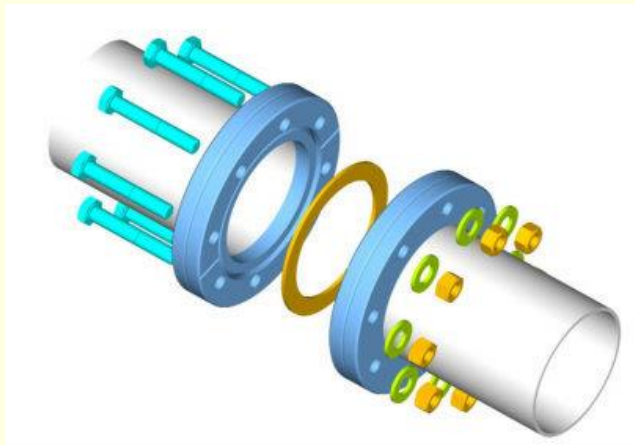
# Manômetros de ionização

Triodo, Bayard-Alpert e Penning



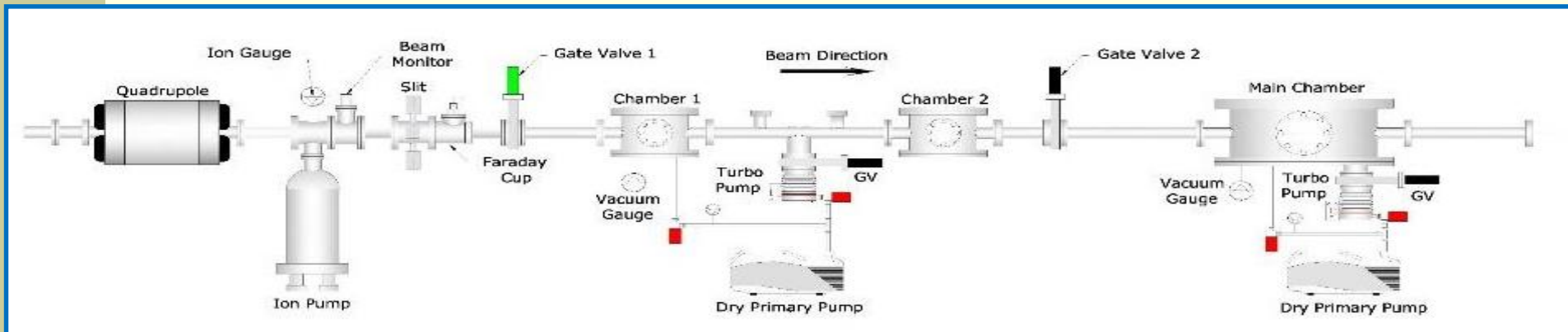


# Selagem com o-rings, gasket ou conflat



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-OFF-ADJUST

SPI SP2

PROTECTION SENSITIVITY

ADJUST

PRESSURE SP1 SP2 PROTECT SENSITIVITY

DISPLAY FUNCTION

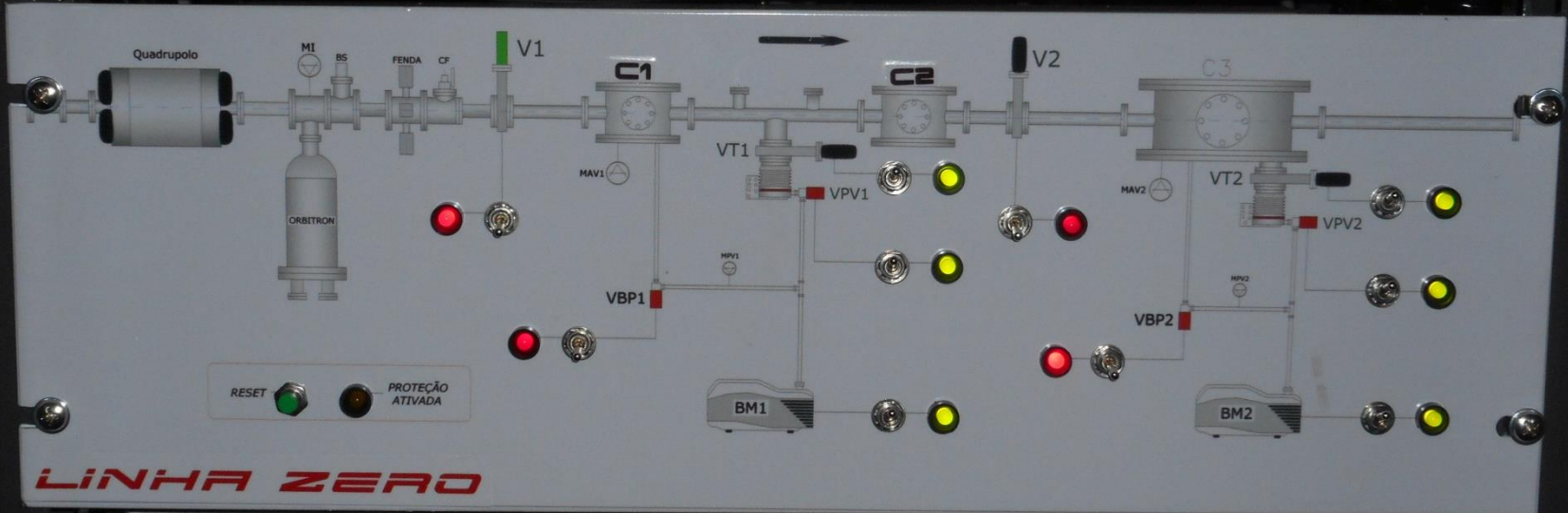
PFEIFFER VACUUM

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

RESET

Navigation buttons

DCU PFEIFFER VACUUM

TURBO 2

S10: DruCurrent  
0.59 A

RESET

Navigation buttons

DCU PFEIFFER VACUUM

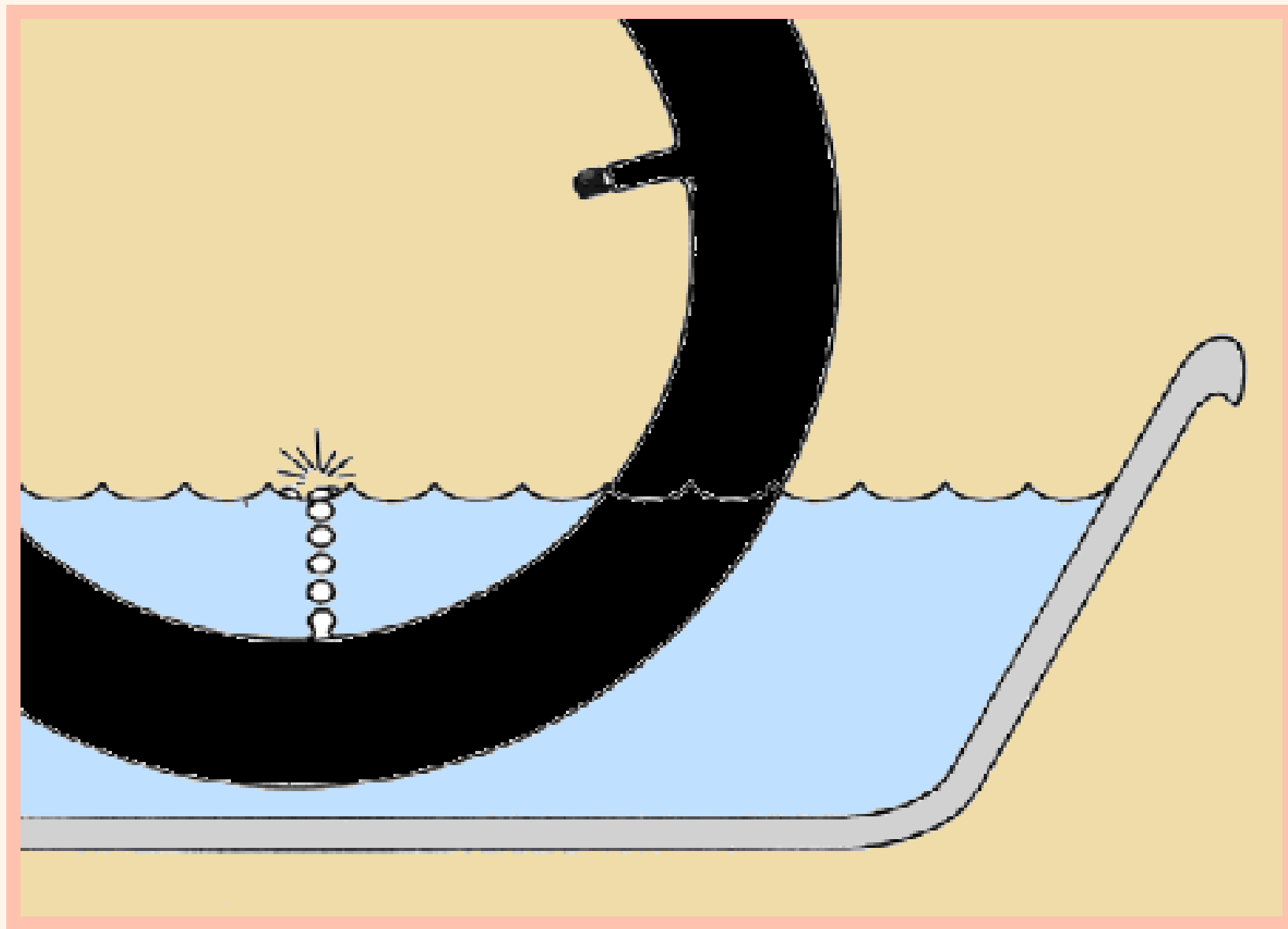
TURBO 3

S10: DruCurrent  
0.59 A

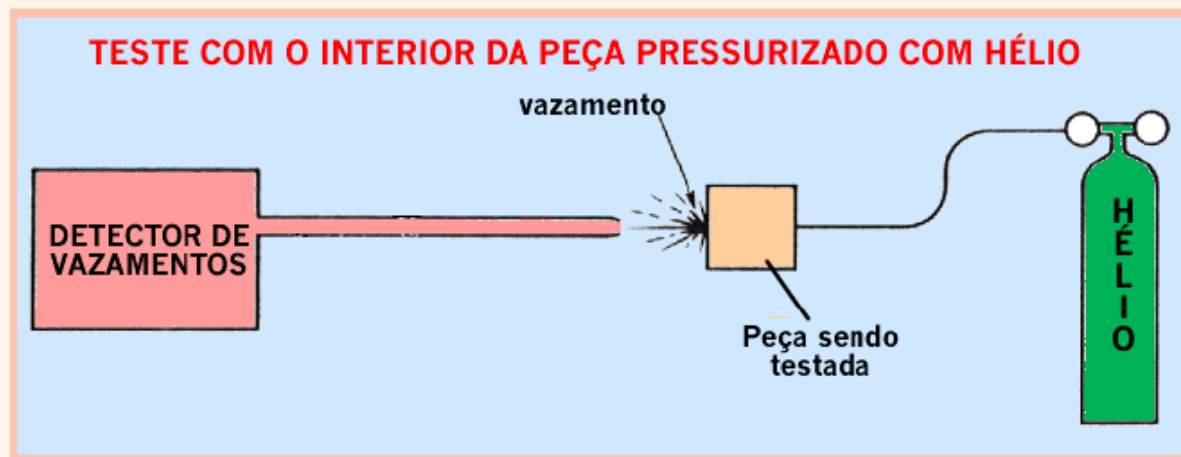
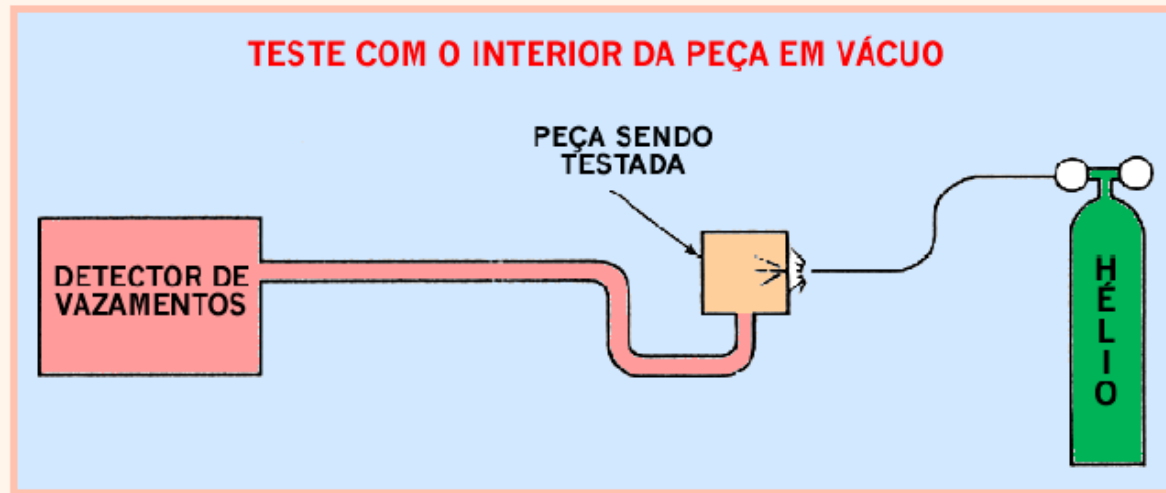
RESET

Navigation buttons

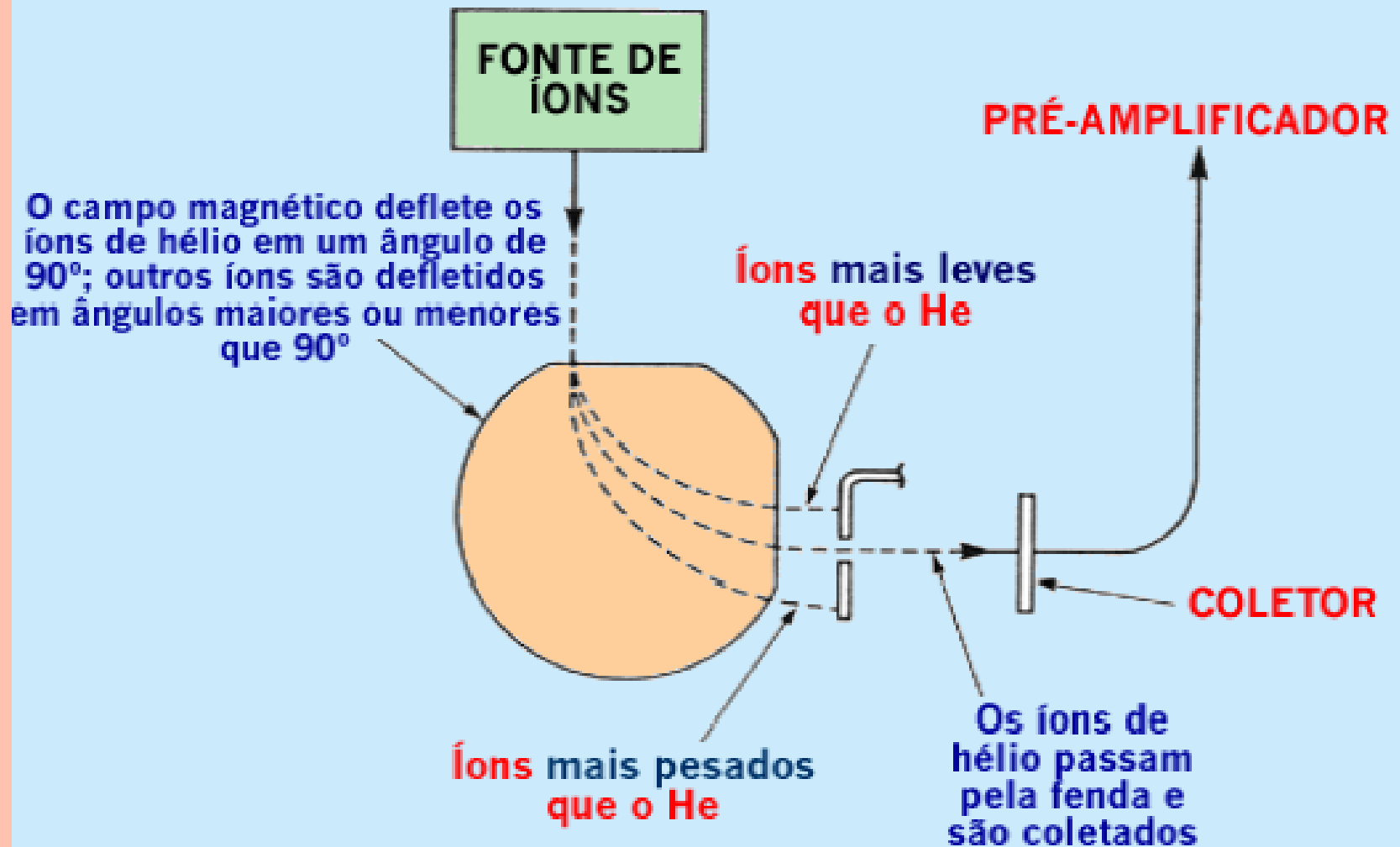
# Detecção de Vazamentos

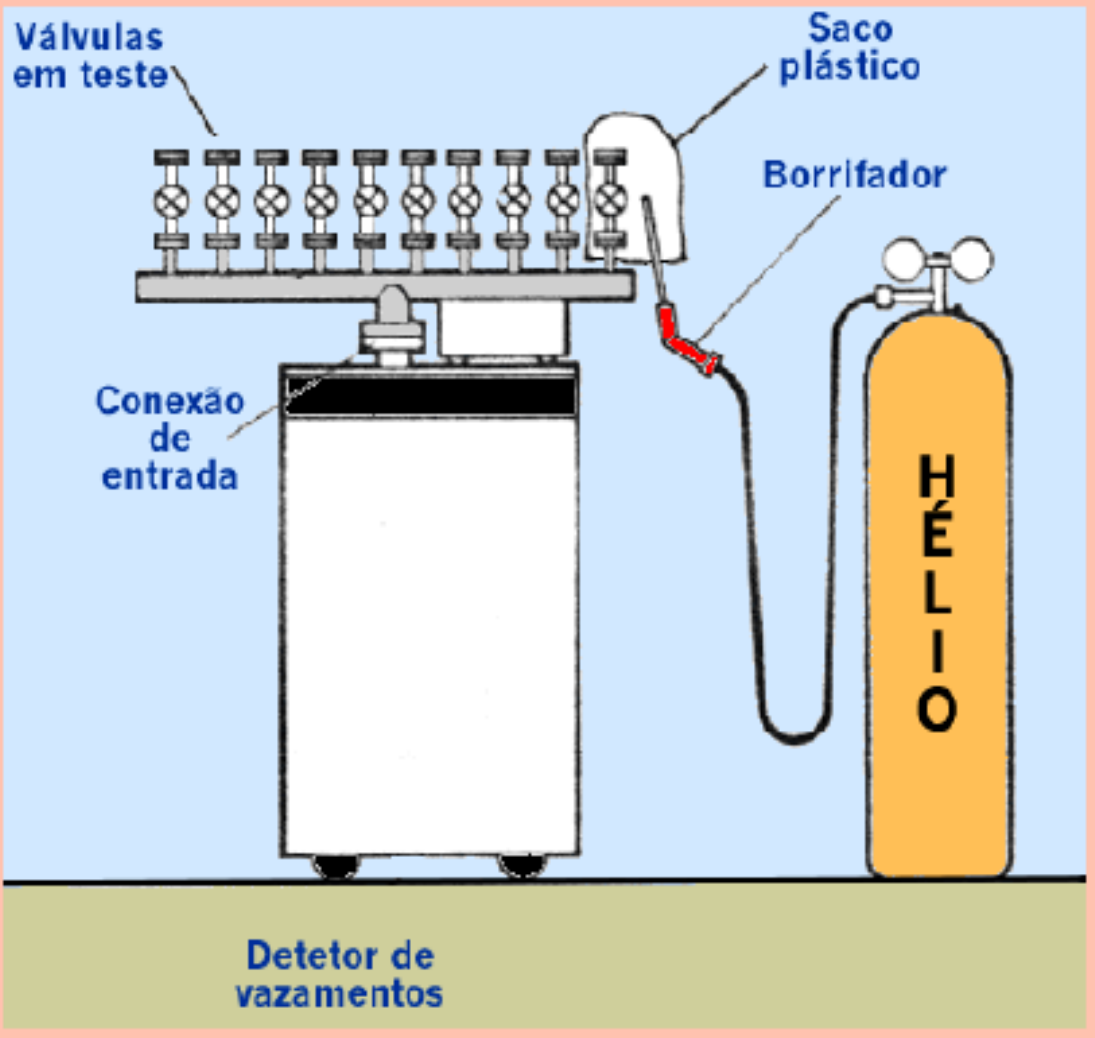


# Sistemas para detecção de vazamentos

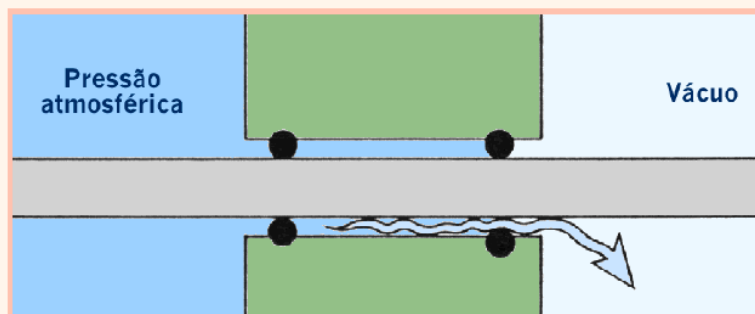
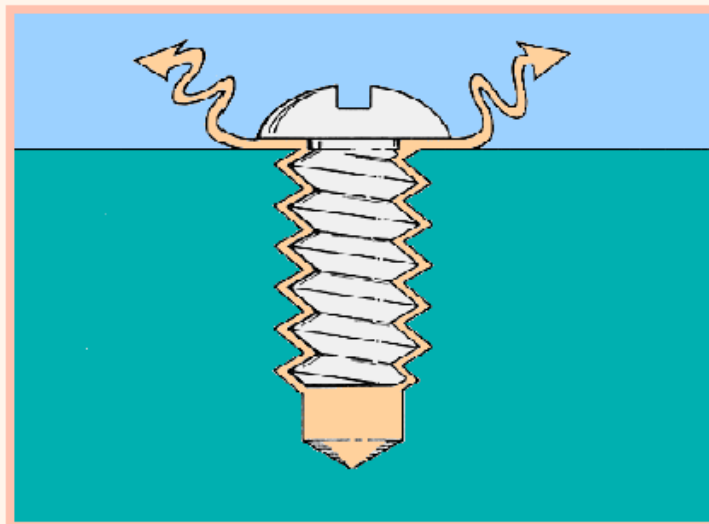


# PRINCÍPIO DA SEPARAÇÃO DE ÍONS POR CAMPO MAGNÉTICO





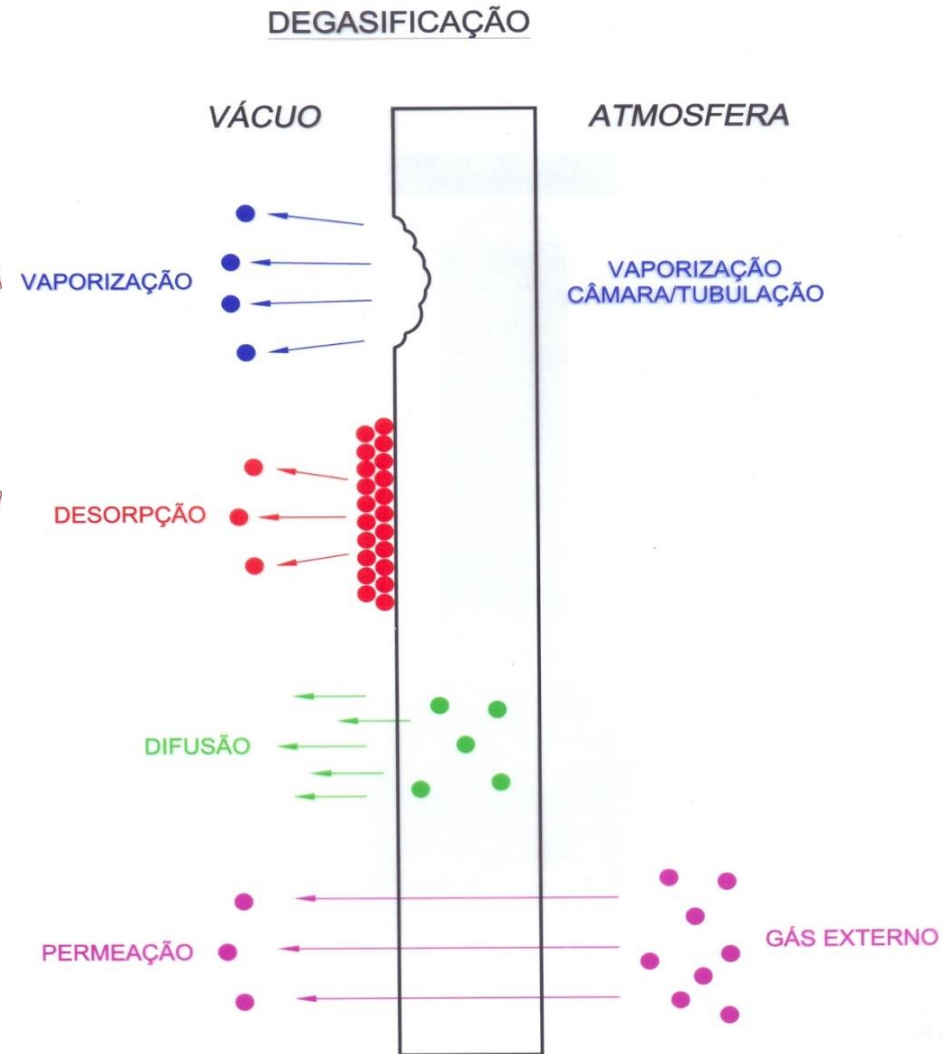
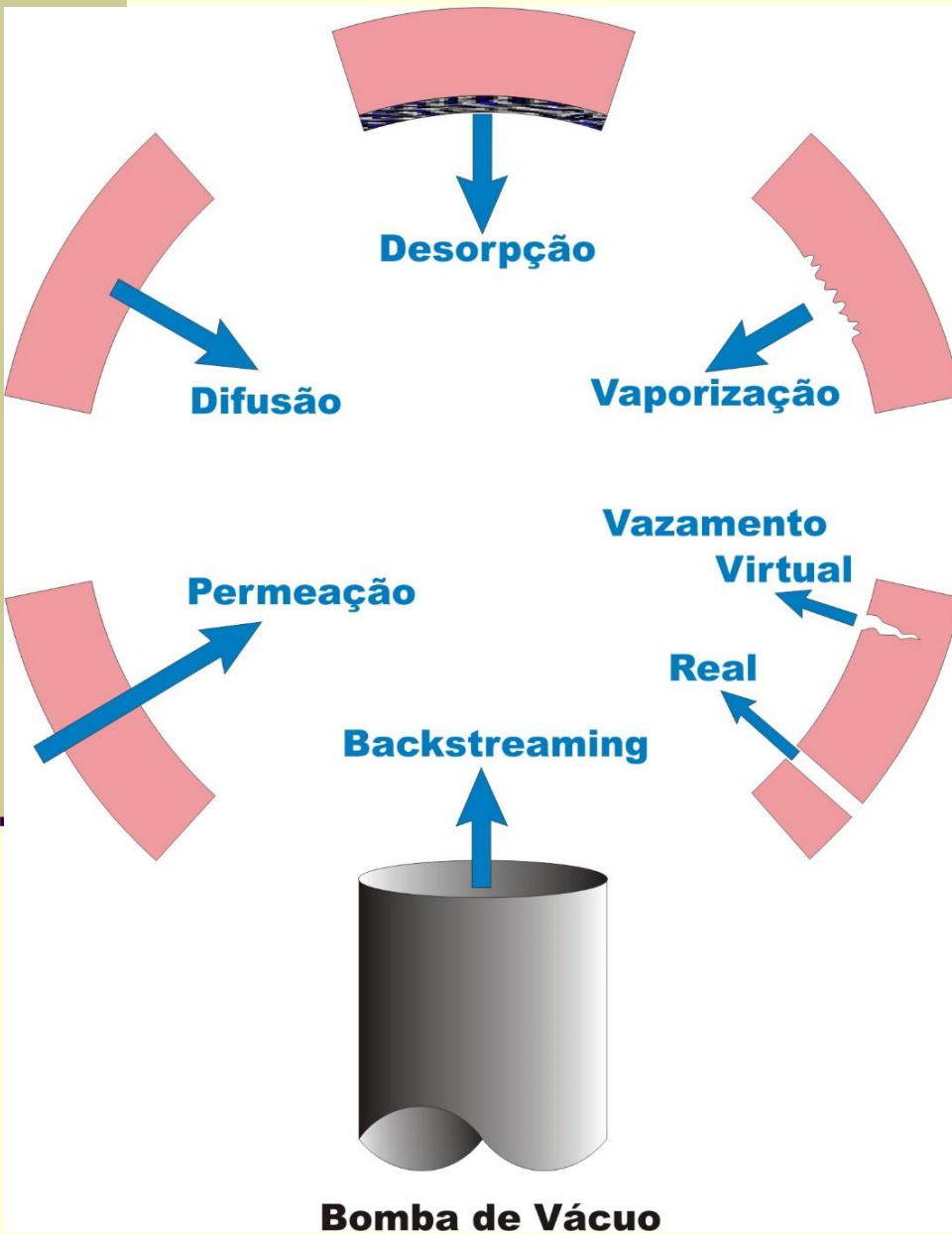
# Vazamento Virtual





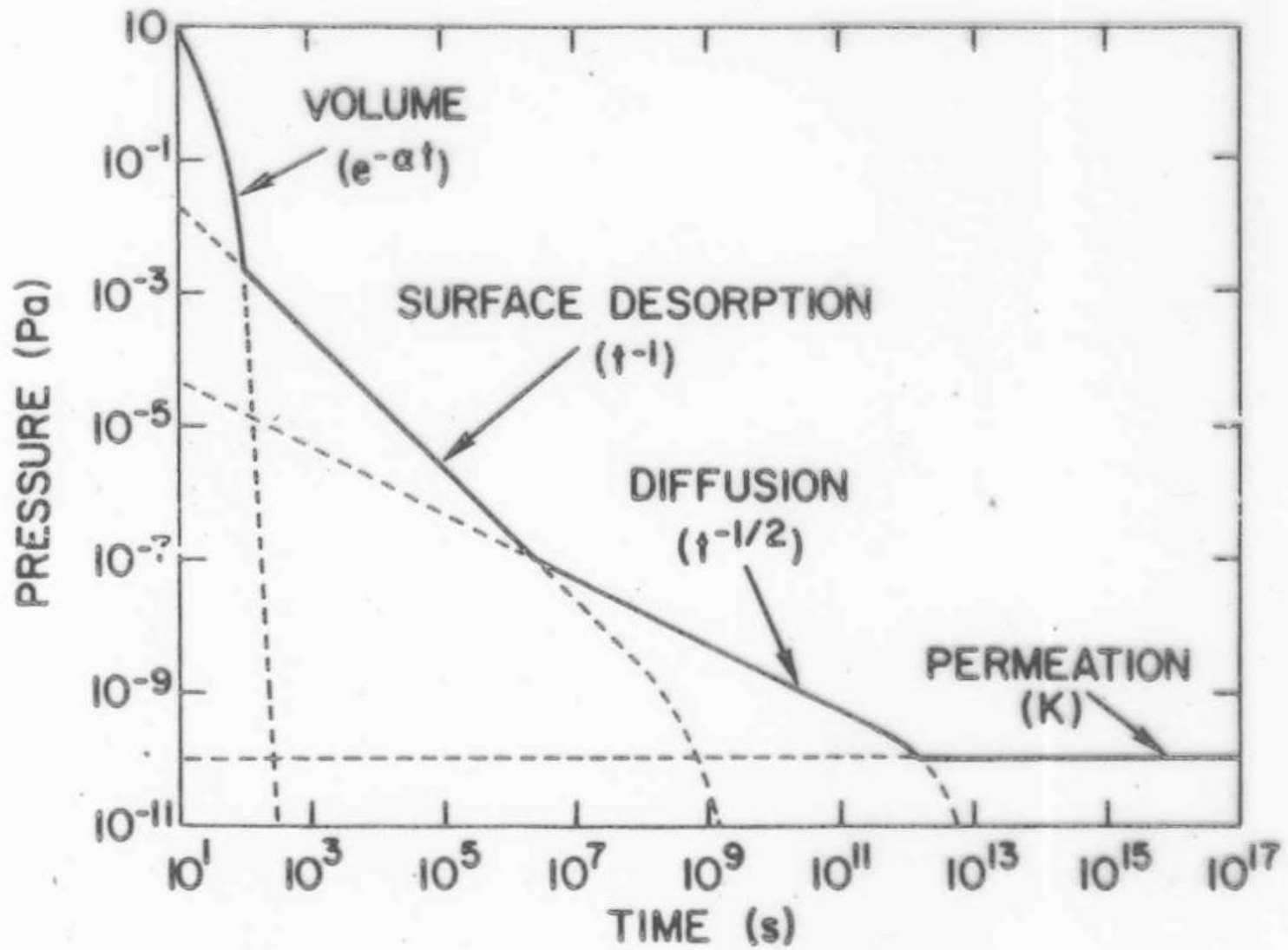
# Principais fontes de gases e vapores em um sistema de vácuo

$$\text{Fluxo de Massa } Q_T = \sum Q_i$$



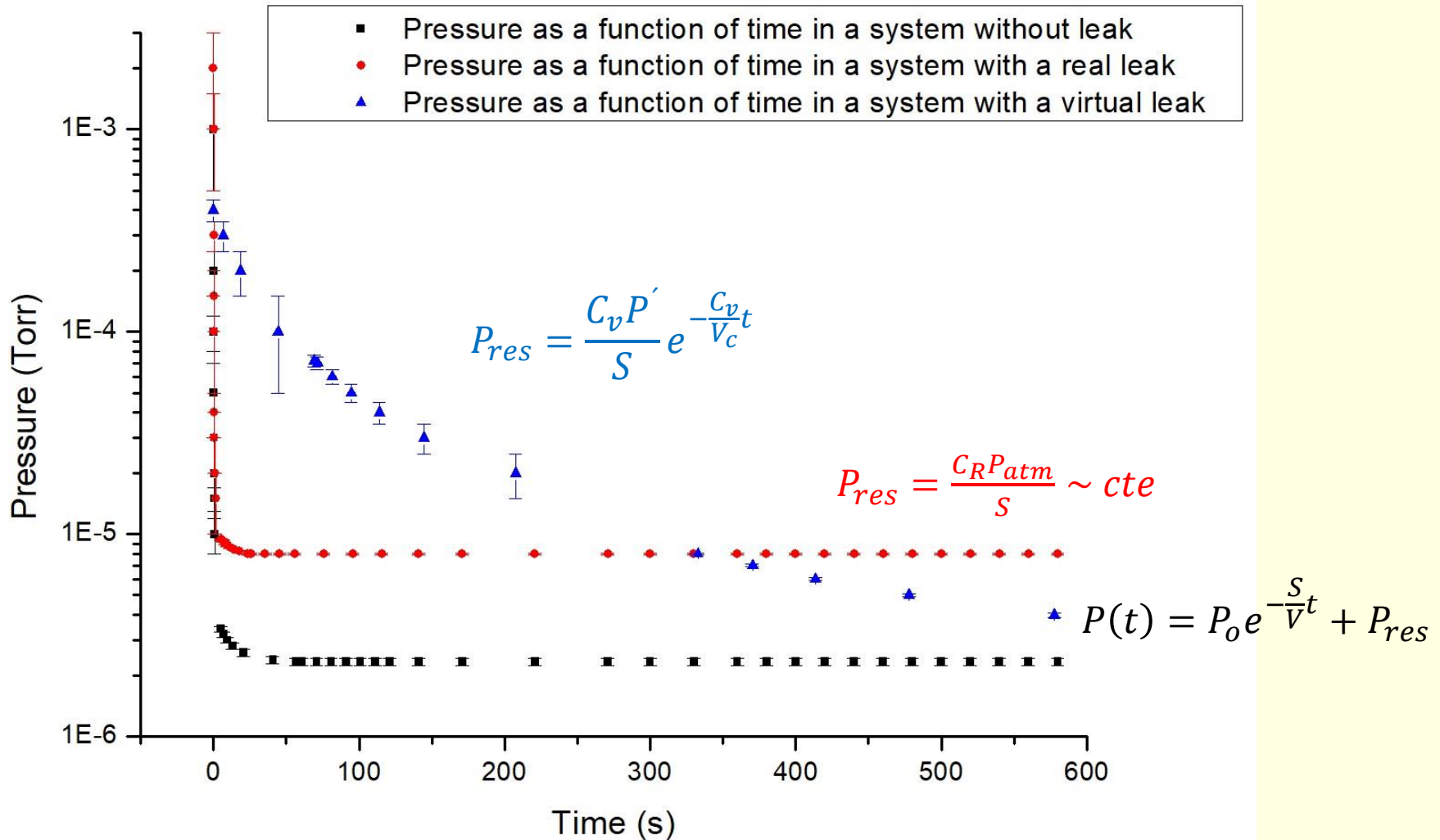
# Modelos de Fontes de gases

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.

# Queda da pressão em função do tempo num sistema real





# Bibliografia

---

- B. Suurmeijer, T. Mulder and J. Verhoeven, *Vacuum Science and Technology*, The High Tech Institute and Settels Savenije Van Amelsvoort, 2016
- David M. Hata, *Introduction to Vacuum Technology*, Prentice Hall, 2007
- Nagamitsu Yoshimura, *Vacuum technology: practice for scientific instruments*, Springer, 2008
- J.F. O'Hanlon – *A User's Guide to Vacuum Technology* – John Wiley & Sons, 2003
- M. H. Hablanian – *High-Vacuum Technology, A Practical Guide* – CRC Press, 1997
- **A. Roth – *Vacuum Technology* – North-Holland, 1990**
- N.S. Harris – *Modern Vacuum Practice* – McGraw-Hill, 1989
- G. Lewin – *Fundamentals of Vacuum Science and Technology* – McGraw-Hill, 1965
- A. Guthrie – *Vacuum Technology* – John Wiley & Sons, 1965
- S. Dushman & J.M. Lafferty – *Scientific Foundations of Vacuum Techniques*, John Wiley & Sons, 1966

# 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 2 relatórios referentes às 7 atividades experimentais e uma lista de exercícios de simulação (Molflow).

**Não se aceitam relatórios fora do prazo de entrega estipulado.**





# Calendário

## CALENDÁRIO DE PROVAS E FERIADOS

11 a 15/04 - Semana Santa – não haverá aulas

22/04 – Recesso escolar - não haverá aulas

17/06 – Recesso Escolar – não haverá aulas.

## DATAS DAS PROVAS

17/05 1ª Prova,  $P_1$ , terça-feira

05/07 2ª Prova,  $P_2$ , terça-feira

12/07 Prova Substitutiva,  $P_S$ , terça-feira

**Local das Provas: Sala 2007 do IFUSP.**

## DATAS PARA ENTREGA DOS RELATÓRIOS e LISTAS – Até às 12h00 min

Relatório 1 - 02/05

Relatório 2 - 20/06

Lista Molflow – 29/06

# Seminários

---

- 05/04 – Medidores de pressão
- 10/05 – Bombas de vácuo 1
- 31/05 – Bombas de vácuo 2
- 07/06 – Materiais e componentes de vácuo.
- Local: Sala 2007
- Horário 19:00 às 21:00

Palestrantes: Prof. Luiz Marcos Fagundes  
Prof. Saulo Gabriel

# Cronograma do Laboratório

<b>DATA</b>	<b>ATIVIDADE</b>
25/03/22	Aula Introdutória
28/03/22	1º Ciclo de Experimentos – aula 1/3
04/04/22	1º Ciclo de Experimentos – aula 2/3
25/04/22	1º Ciclo de Experimentos – aula 3/3
02/05/22	<b>AULA NA SALA DE COMPUTADORES ENTREGA DO RELATÓRIO 1</b>
23/05/22	2º Ciclo de Experimentos – aula 1/3
30/05/22	2º Ciclo de Experimentos – aula 2/3
06/06/22	2º Ciclo de Experimentos – aula 3/3
20/06/22	<b>ENTREGA DO RELATÓRIO 2</b>
20/06/22	Aula de Componentes, Materiais e Vazamentos – acelerador Pelletron
29/06/22	<b>ENTREGA DA LISTA MOLFLOW</b>

## Planificação (4300323) - Ciência e Tecnologia do Vácuo 2022

<p><b>1 21/03- 25/03</b> (aulas 1-2)</p> <p>22/03 Aula 1 Introdução Teoria Importância da Tecnologia do Vácuo</p> <p>25/03 Aula 2 Aula Introdutória Laboratório sala 1008</p>	<p><b>2 28/03 a 01/04</b> (aulas 3-4)</p> <p>28/03 Laboratório 1 29/03 Aula 2 histórico da tecnologia do vácuo Conceitos e definições básicas (Q,S,C) 01/04 Aula 3 Teoria Cinética dos gases <math>v_{mp}</math>, <math>\langle v \rangle</math>, <math>\langle v^2 \rangle</math> <b>Distribuir Lista 1</b></p>	<p><b>3 04/04 a 08/04</b> (aulas 5 - 6)</p> <p>04/04 Laboratório 2 05/04 Aula 5 <b>Seminário Medidores</b></p> <p>08/04 Aula 6 exercícios (<math>N_s=N_v</math>). Viscosidade, regimes de escoamento, número de Reynolds</p>	<p><b>4 11 a 15/04</b></p> <p><b>Semana Santa</b></p> <p><b>Não haverá aulas</b></p>
<p><b>5 18 a 22/04</b> (aulas 7 e 8)</p> <p>19/04 Aula 7 - Cálculo de condutâncias: orifício, diafragma e dutos no regime molecular. Bomba difusora. 22/04 Recesso Escolar.</p>	<p><b>6 25/04 a 29/04</b> (aulas 9 e 10)</p> <p>25/04 Laboratório 3 26/04 Aula 8 Cálculo de condutâncias. <b>Distribuir Lista 2 e artigo Hélcio</b> 29/04 Aula 9: Condutância de uma abertura (viscoso), duto cilíndrico, condutância dependendo do gás, regime intermediário.</p>	<p><b>7 02/05 a 06/05</b> (Aulas 10 e 11)</p> <p>02/05 Sala de computadores Molflow <b>Entregar lista Molflow</b> 03/05 Aula 10: Cálculo de sistemas de vácuo. P(t) bombeamento regimes viscoso e molecular. Fator de serviço. 06/05 Aula 11: Perfil da pressão ao longo do tubo. Vazamento real e virtual. Exercício P(t) <b>Distribuir lista 3</b></p>	<p><b>8 09 a 13/05</b> (aulas 12 e 13)</p> <p>10/05 Aula 12 - <b>Seminário Bombas I</b> 13/05 Aula 13 - Revisão dos conceitos. Sistema para o estudo de vazamentos. Método da pipeta e outros métodos para medida de S e C.</p>
<p><b>9 16/05 a 20/05</b> (aulas 14 e 15 )</p> <p>17/05 Aula 14: <b>Prova P1</b></p> <p>20/05 Aula 15 Revisão das questões da prova e Revisão do Laboratório</p>	<p><b>10 23/05 a 27/05</b> (aula 16 e 17)</p> <p>23/05 Laboratório 4 24/05 Aula 16: Cálculo de condutância (cotovelo). Cálculo de armadilhas. Dimensionar armadilhas. Estimativas de pressões. <b>Distribuir Lista 4</b> 27/05 Aula 17: Exercícios, Fontes de gases. Permeação de gases</p>	<p><b>11 30/05 a 03/06</b> (aulas 18 e 19 )</p> <p>30/05 Laboratório 5</p> <p>31/05 Aula 18: <b>Seminário Bombas 2</b></p> <p>03/06 – Aula 19 <b>Visita ao INPE</b></p>	<p><b>12 06/06 a 10/06</b> (aulas 20 e 21)</p> <p>06/06 Laboratório 6</p> <p>07/06 Aula 20: <b>(Seminário: Materiais e Componentes)</b></p> <p>10/06 Aula 21: Revisão: permeação, difusão de gases</p>
<p><b>13 13/06 a 17/06</b> (aula 22)</p> <p>14/06 Aula 22: revisão: permeação, difusão de gases (parede semi-infinita, parede finita) evaporação/vaporização. Exemplos: gota de óleo e gota de água.</p> <p>17/06 Recesso Escolar</p>	<p><b>14 20/06 a 24/06</b> (aulas 23 e 24)</p> <p>20/06 Laboratório 7 – Componentes e leak detector 21/06 Aula 23 – Desorção térmica. Primeira e segunda ordem. Superfícies reais 24/06 Aula 24 - Cálculo de sistemas de vácuo - Aplicações: exemplo 1</p>	<p><b>15 28/06 a 01/07</b> (aulas 25 e 26)</p> <p>29/06 Aula 25 – Cálculo de sistemas de vácuo. Aplicações: exemplo 2 01/07 Aula 26 - Exercícios e Revisão dos conceitos</p>	<p><b>16 04/07 a 08/07</b> (aulas 27 e 28)</p> <p>05/07 Aula 27 <b>Prova P2</b></p> <p>08/07 – <b>Visita ao Pelletron</b></p>

# Visita ao INPE 2005

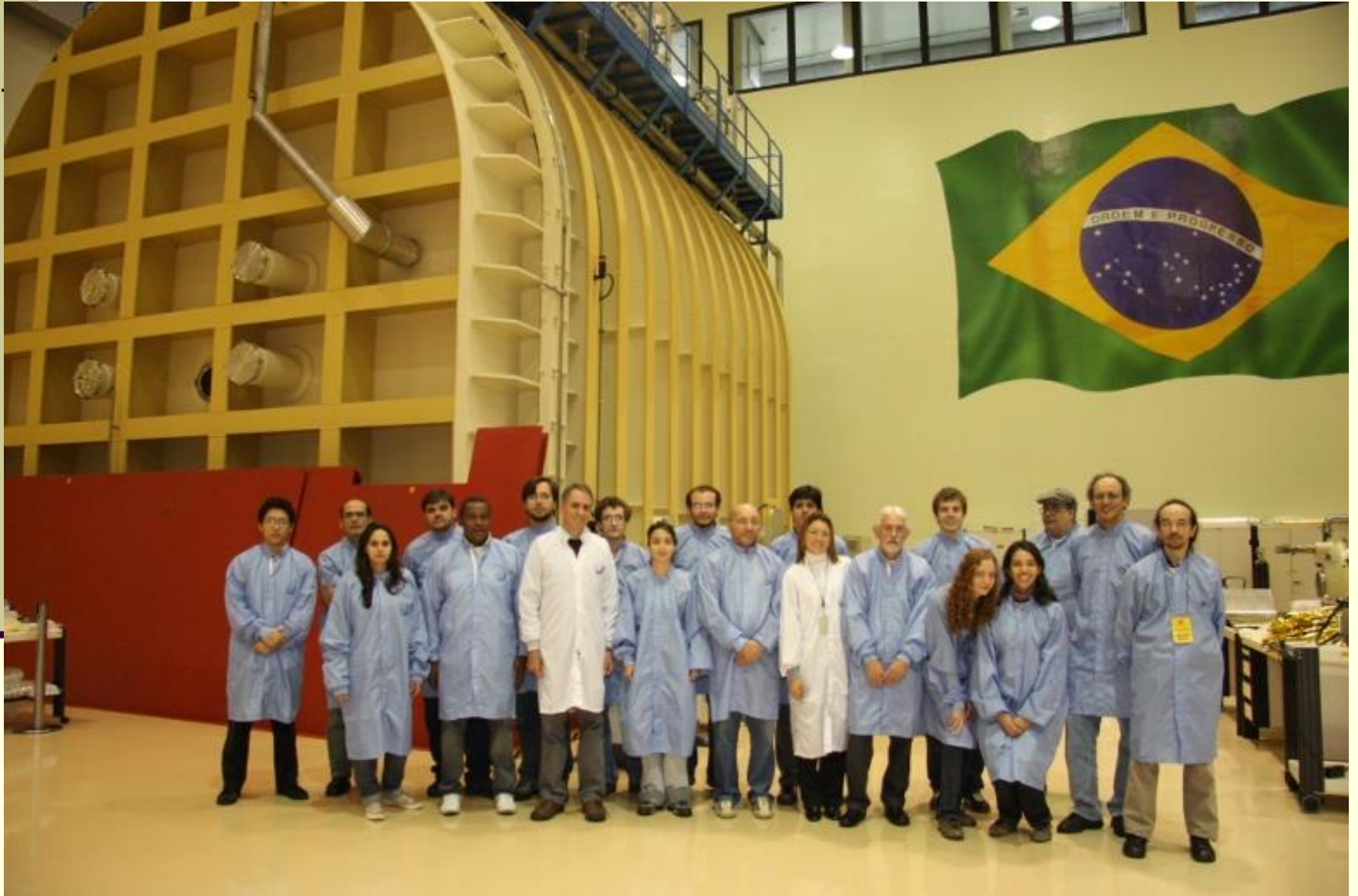


# 2007

---



# 2009



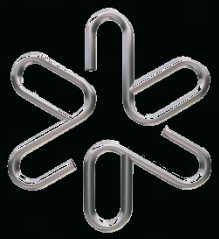
# Visita ao INPE 2022

---

Possivelmente em 03 de junho de 2022

Partida às 7 horas do IFUSP  
Volta às 18 horas





**Nilberto H. Medina**  
**Universidade de São Paulo**  
**Instituto de Física**



**CBERS 4**

**Obrigado pela Atenção**