

# Vácuo e Criogenia – F 640

## 2ª Parte: Plasma e criogenia

**Prof. Francisco Marques**

Instituto de Física – Departamento de Física Aplicada  
Laboratório de Pesquisas Fotovoltaicas  
[marques@ifi.unicamp.br](mailto:marques@ifi.unicamp.br)

# Estados da matéria

## Estados fundamentais

4) **Plasma:** Um dos estados físico da matéria formado por partículas ionizadas (elétrons, íons, etc).

3) **Gasoso**

2) **Líquido**

1) **Sólido**

## Outros estados exóticos

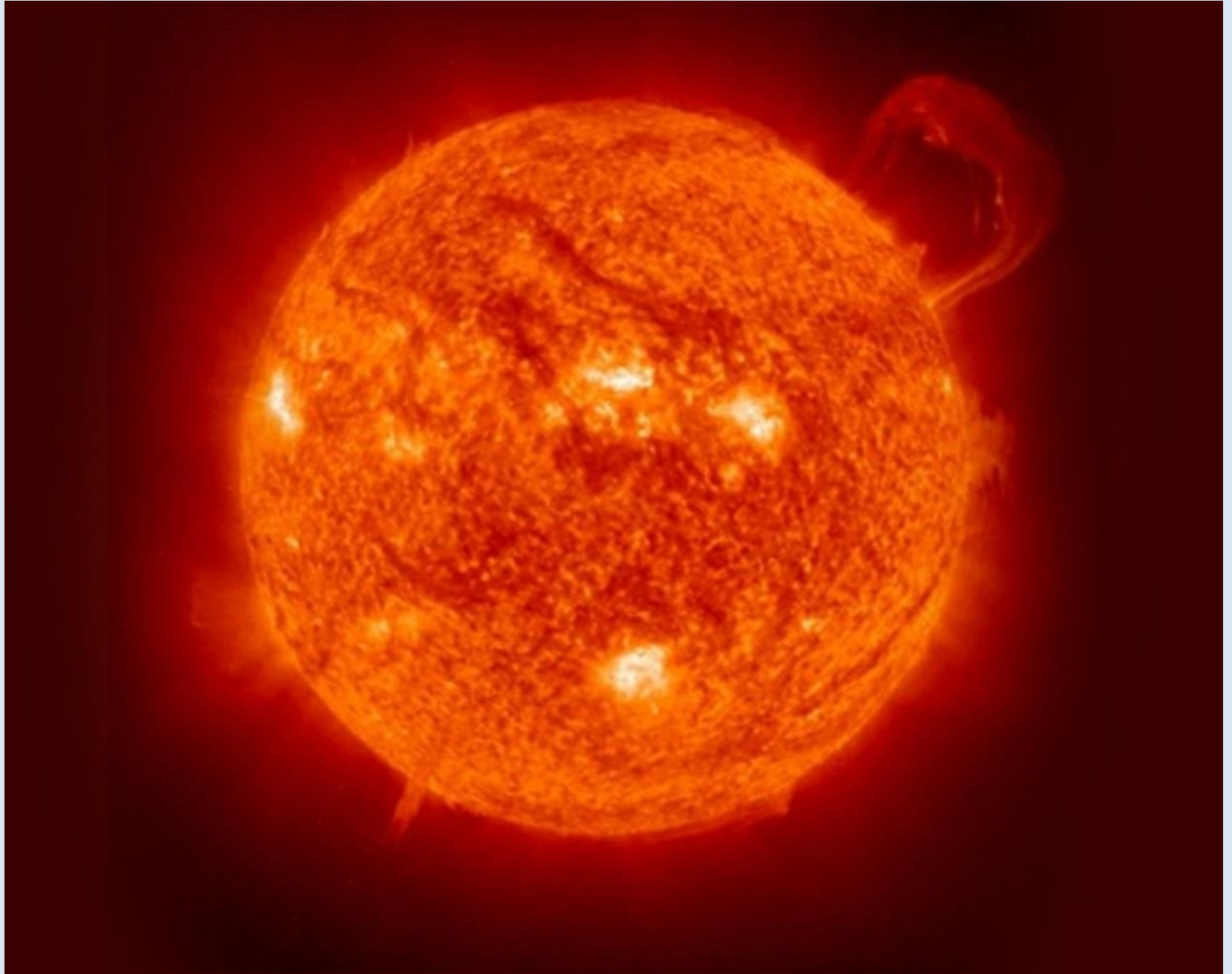
**Condensado de Bose-Einstein**

**Superfluidez**



**Temperatura**

## Exemplos de Plasma: Estrelas

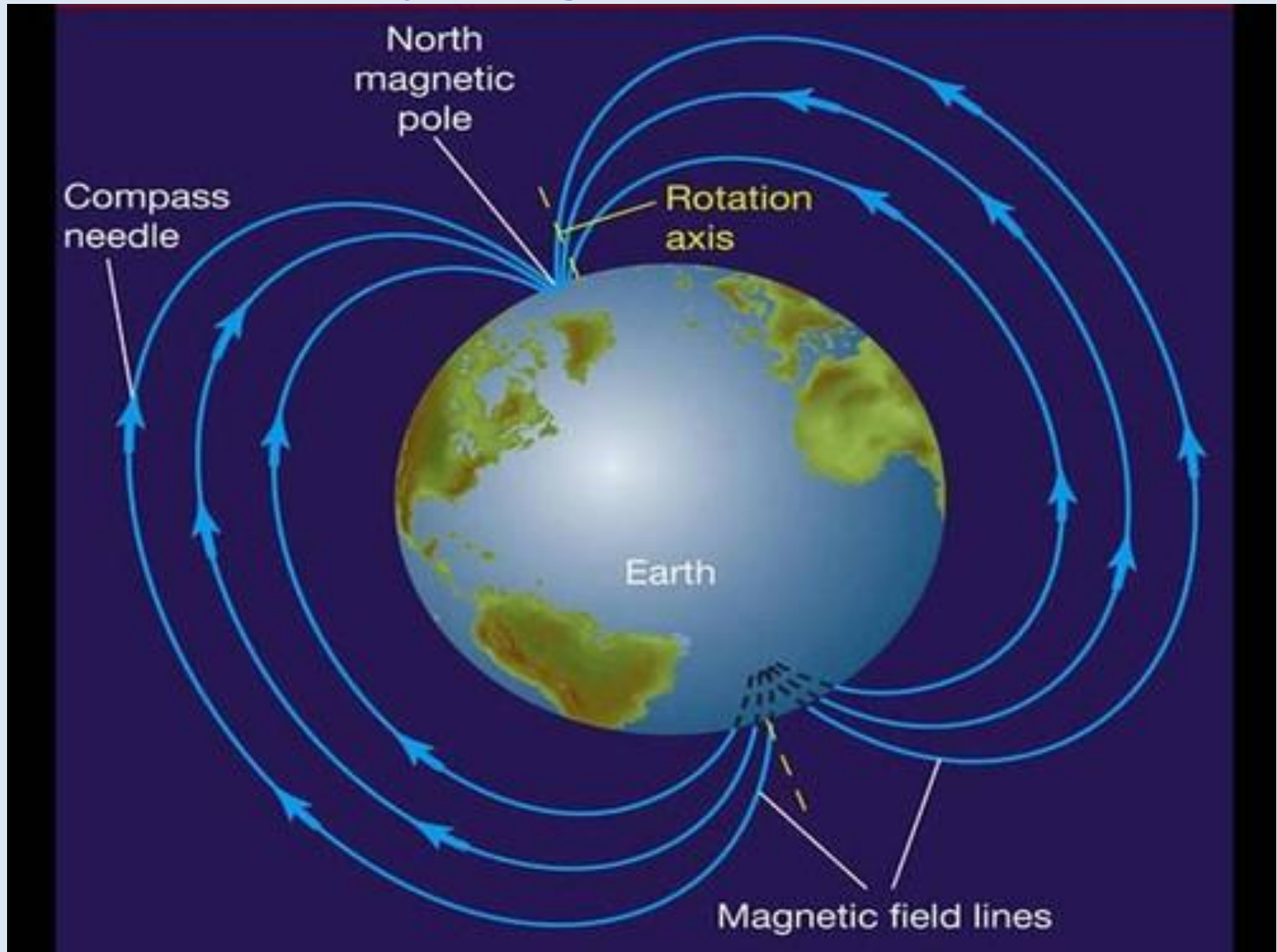


# PLASMA



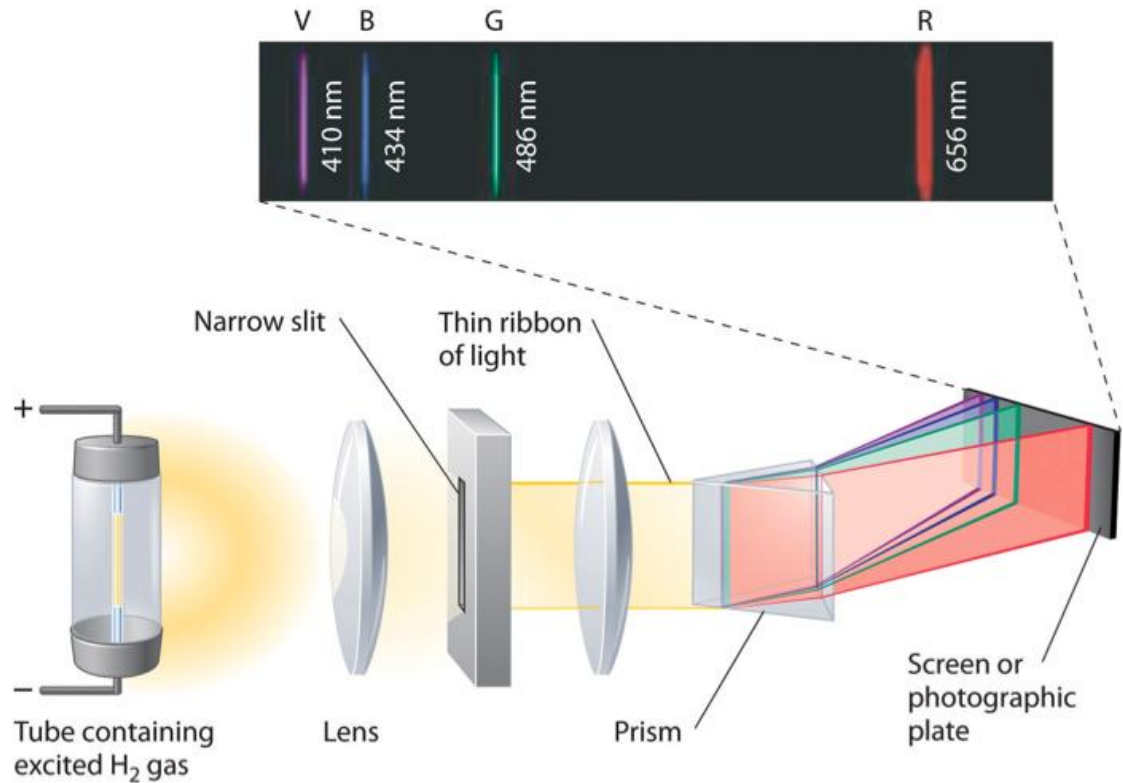
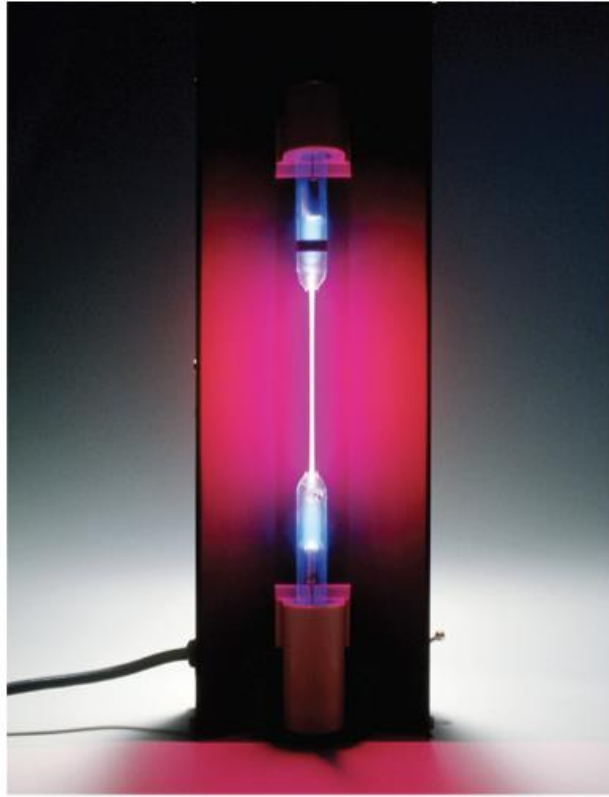
<https://www.youtube.com/watch?v=Inufy4FdnRk>

# Campo Magnético da Terra

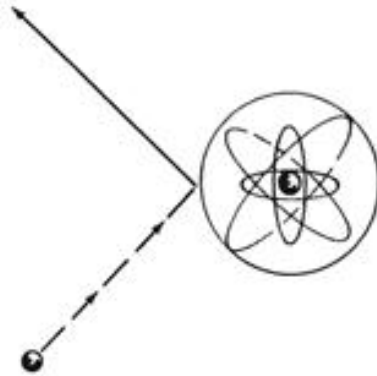




# Espectroscopia Atômica e Molecular

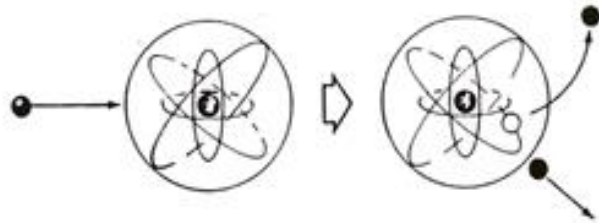


### Colisão elástica elétron-átomo

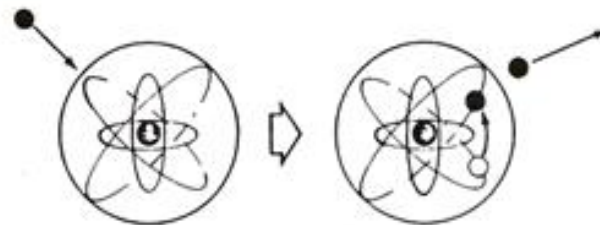


### Ionização por impacto com elétron

---



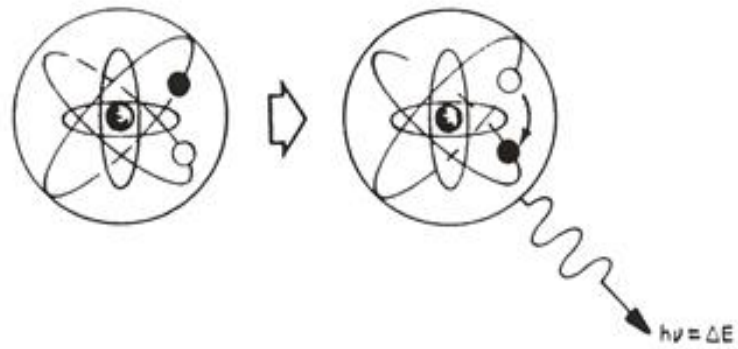
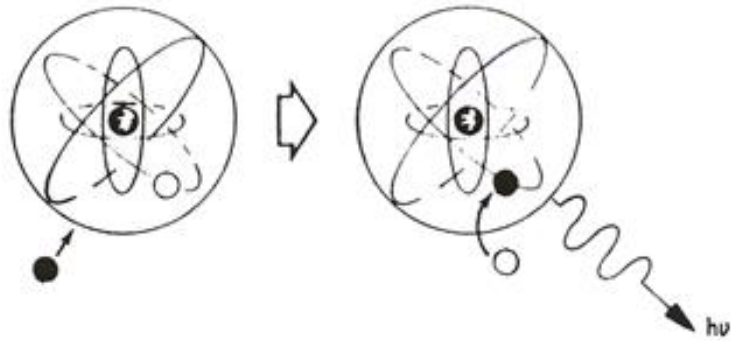
### Excitação por impacto com elétron



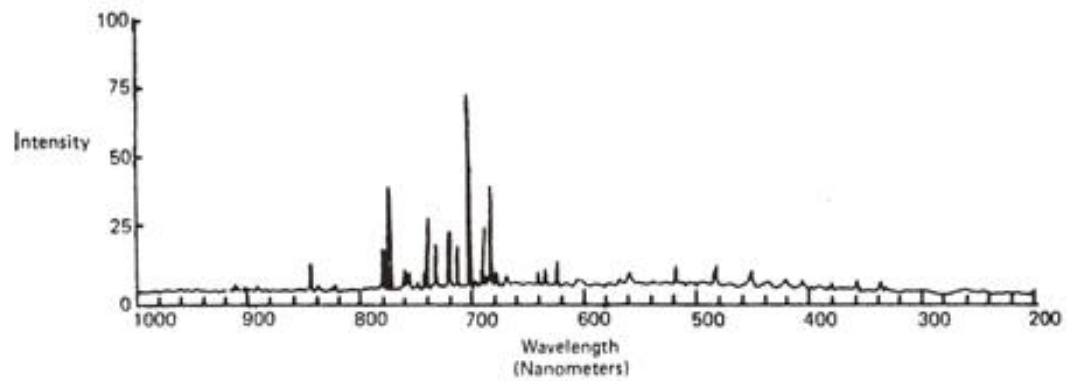
Ionisation.swf

<https://www.youtube.com/watch?v=TxoY6rQ9Dsk>

## Recombinação Radiativa

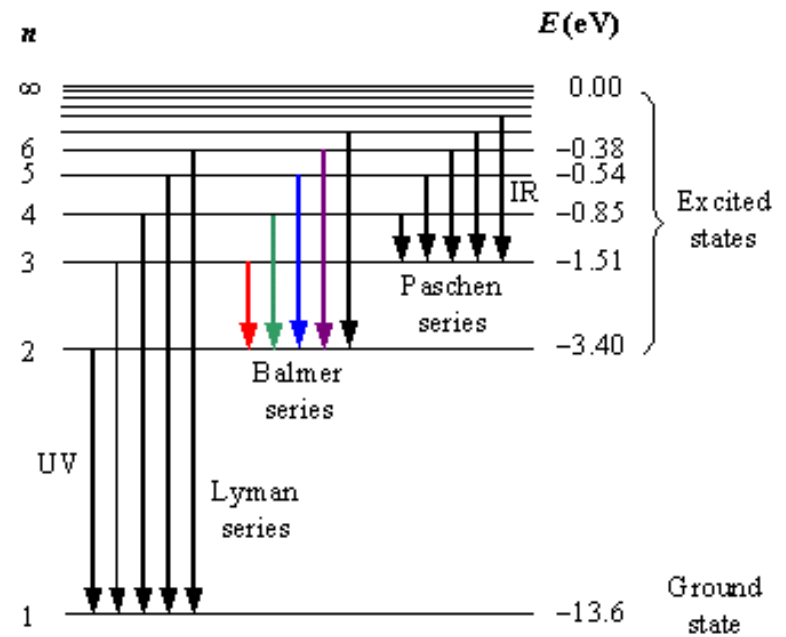
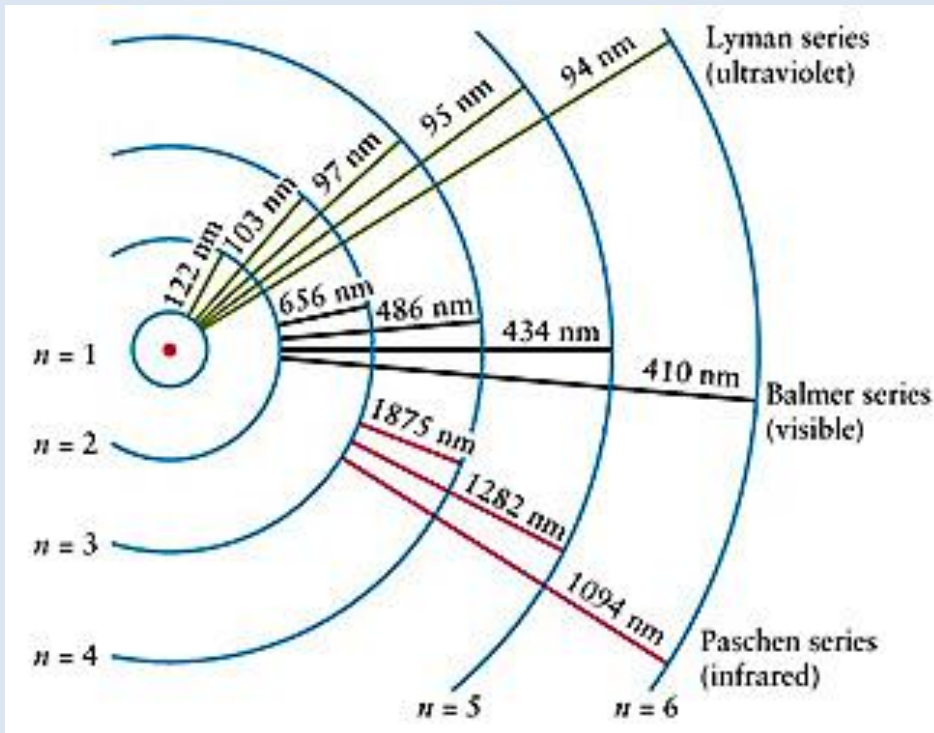


Relaxation (or de-excitation)



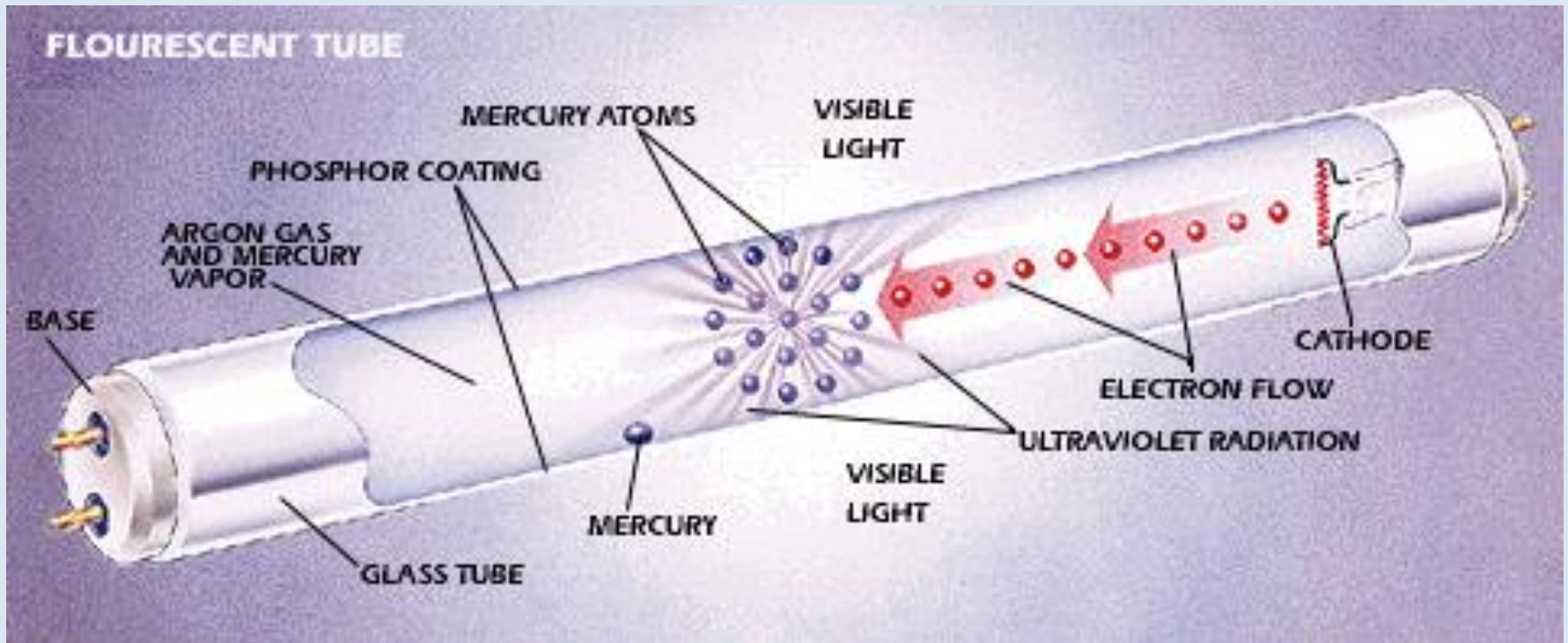


# Espectroscopia Atômica e Molecular



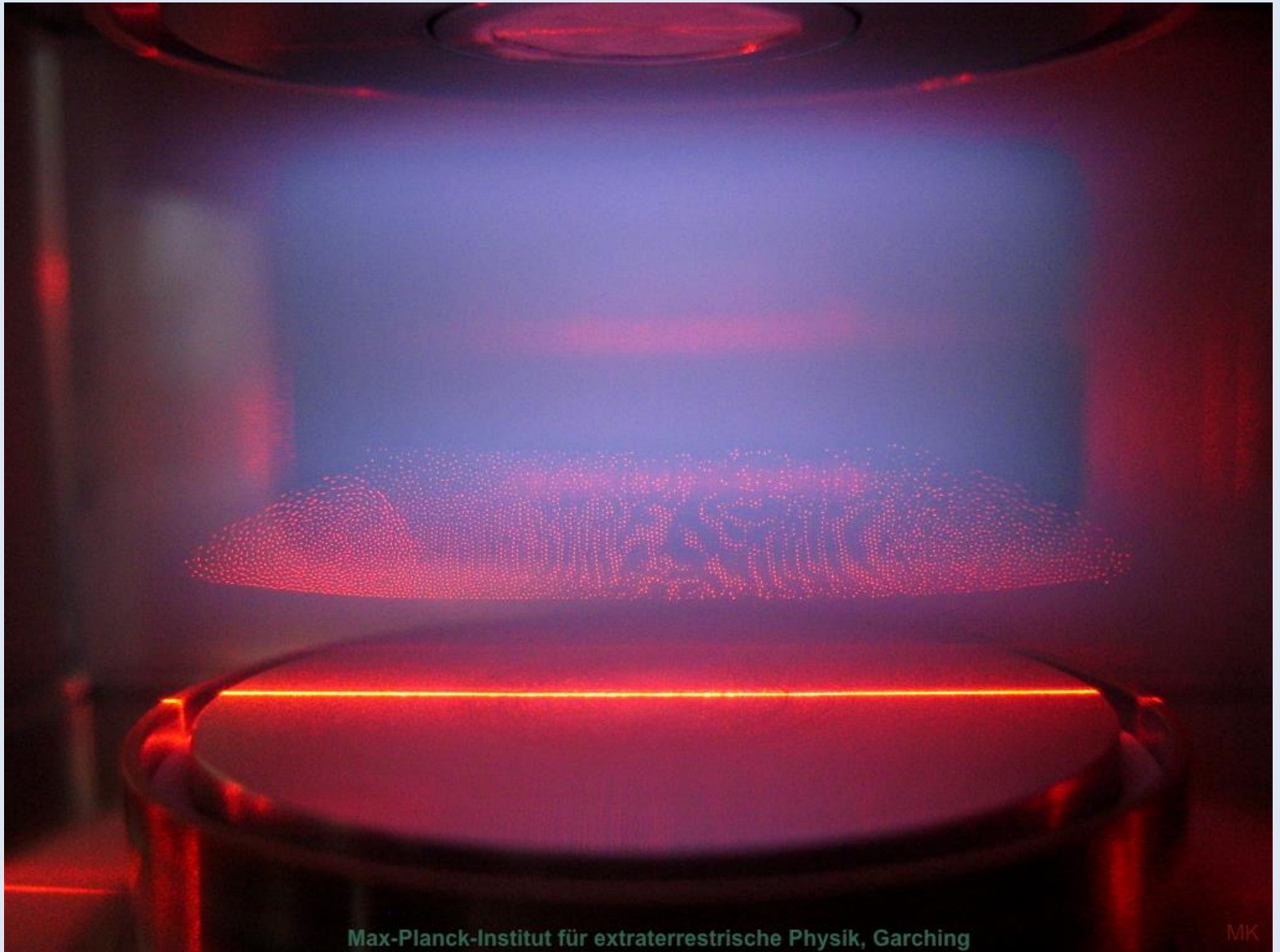
Energy levels of the hydrogen atom with some of the transitions between them that give rise to the spectral lines indicated.

# Plasma: Lâmpada incandescente



# Plasma

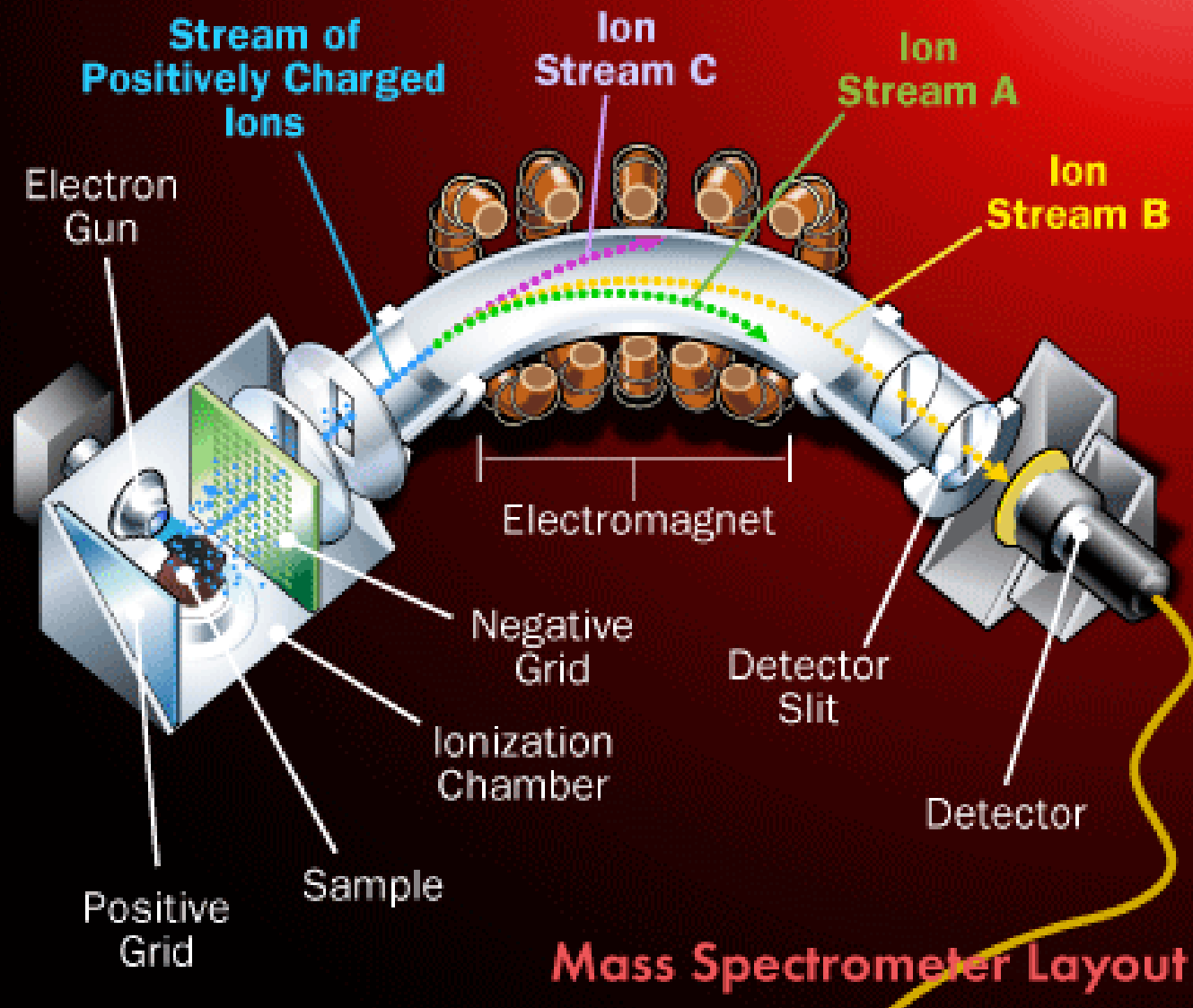
(descarga luminescente: Plasma frio)



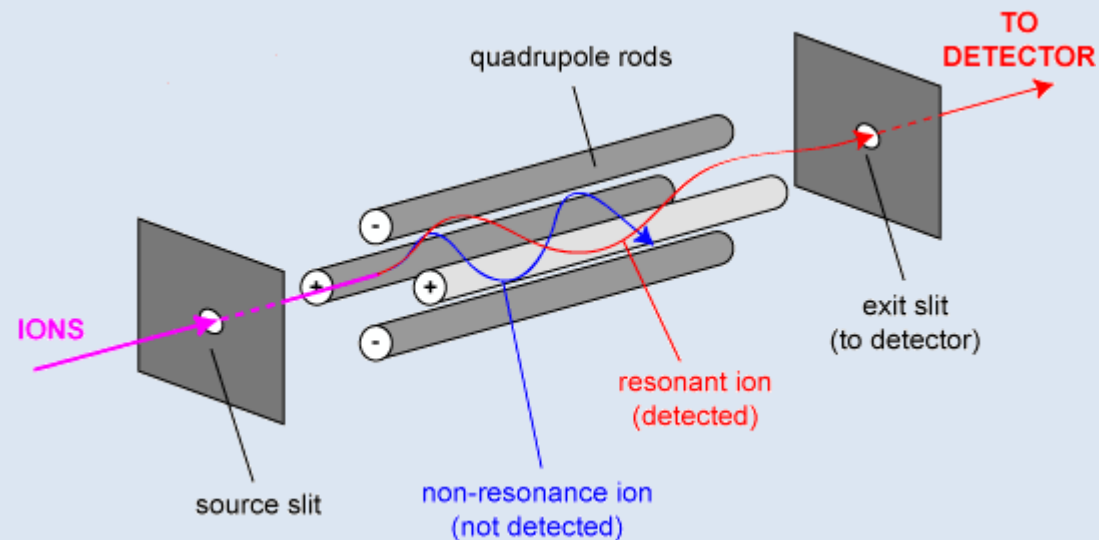
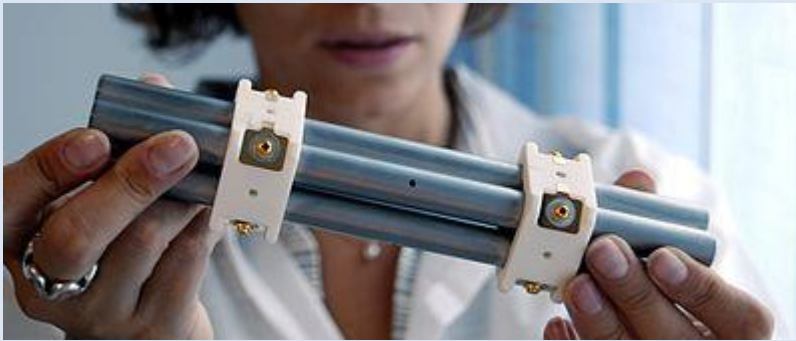
# Espectrômetro de massa

## How Mass Spectrometry Works

©2009 HowStuffWorks



# Espectrômetro de massa - quadrupolo



The quadrupole mass spectrometer is made with 4 rods. A DC field is applied to 2 rods and a radio frequency (RF) field is applied to the other 2 rods. These rods generate an electric field through which the ions can move. The strength and frequency of the RF field determines whether or not an ion of a certain mass passes through the rods.



## Sistema de detecção de vazamento de câmara em vácuo



[http://www.youtube.com/watch?v=GSYueQzo2n8&feature=player\\_detailpage](http://www.youtube.com/watch?v=GSYueQzo2n8&feature=player_detailpage)



# APLICAÇÕES DE PLASMAS

## **Na natureza**

- Estrelas
- Aurora boreal

## **Preparação de Materiais**

- Glow Discharge
- Sputtering

## **Tratamento e análises de materiais**

- Etching
- Produção de estruturas
- Limpeza de superfície
- Perfil de profundidade por sputtering

## **Outros**

- Lasers
- Lâmpadas Fluorescentes
- Manômetro de ionização
- Válvulas rf
- Metalurgia

# Criogenia

# Nitrogênio líquido

Fonte de nitrogênio: atmosfera

Extração do N<sub>2</sub>: compressão e adsorção

Temperatura de liquefação: 77K

Distribuição no IFGW: dewars

Armazenagem no IFGW : dewars

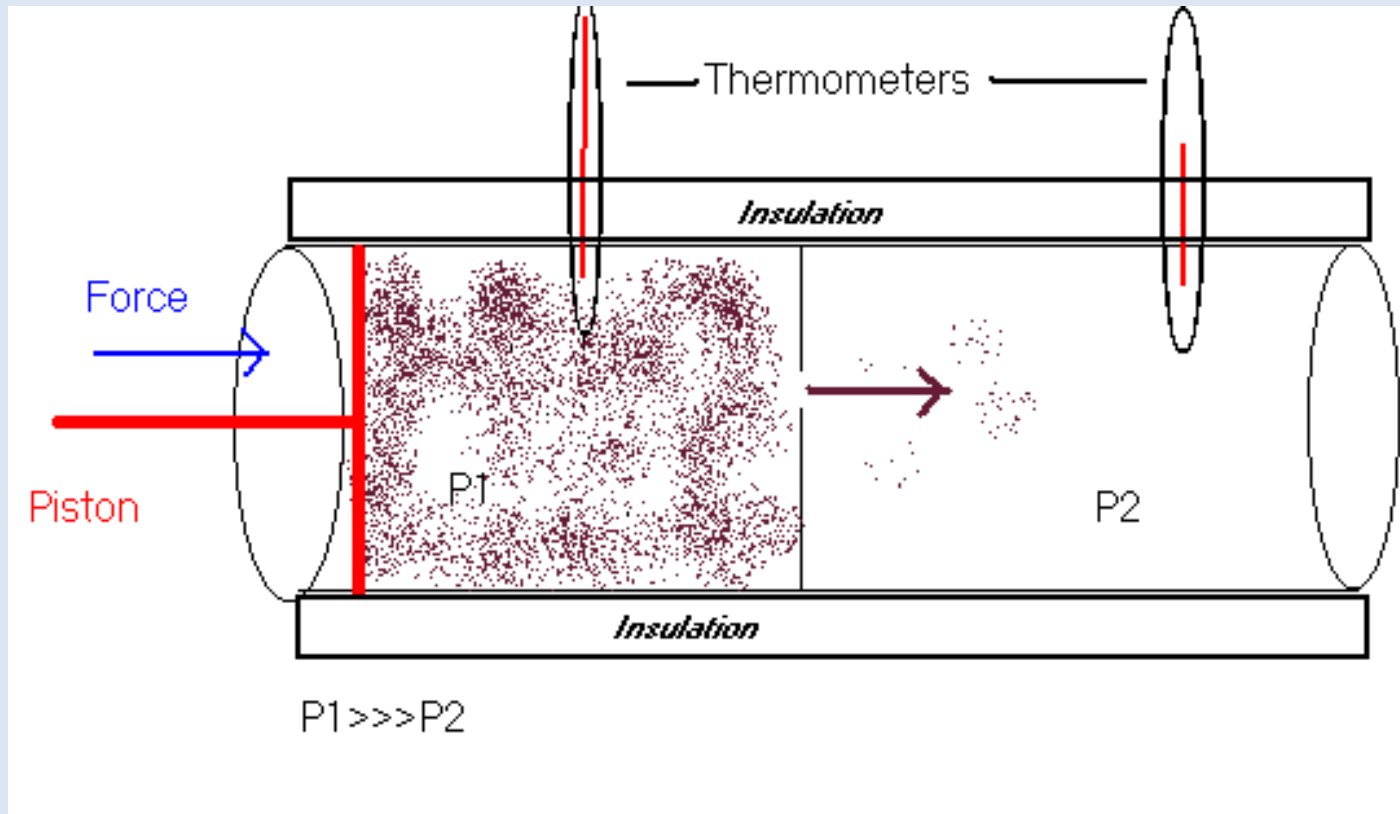
Recuperação? NÃO

## COMPOSIÇÃO DO AR SECO

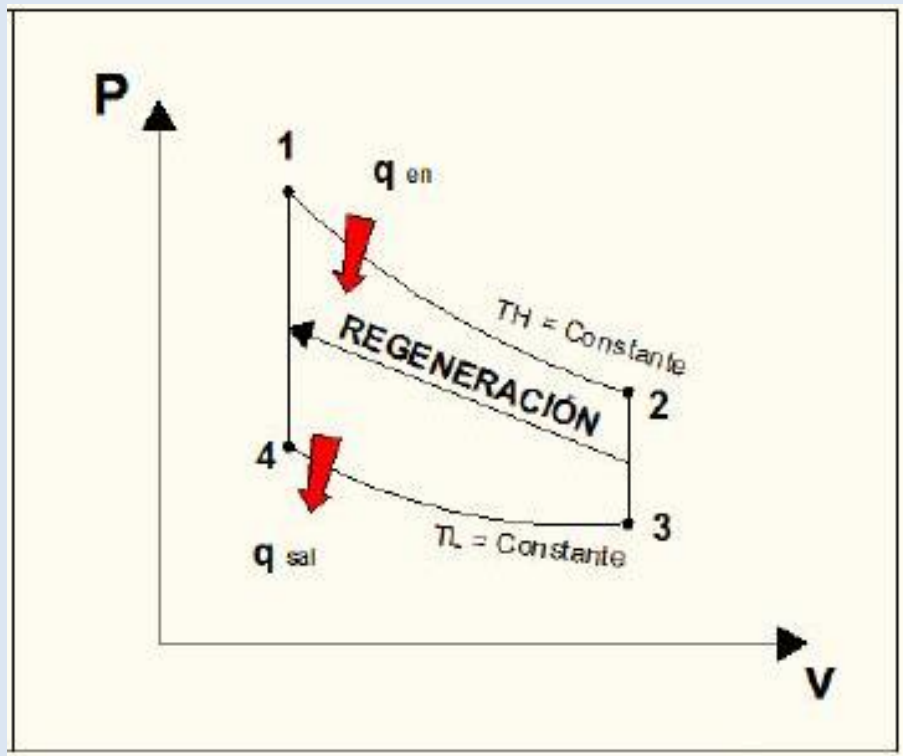
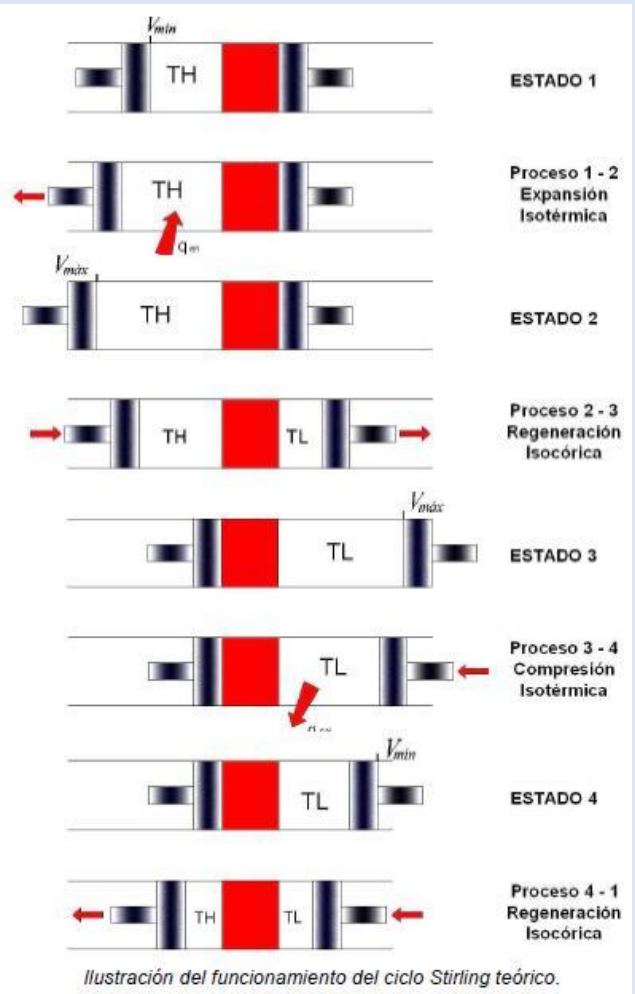
GÁS	% VOLUME
Nitrogênio	78,08
Oxigênio	20,95
Argônio	0,93
Dióxido de Carbono	0,033
Neon	0,001 8
Hélio	0,000 524
Metano	0,000 2
Criptônio	0,000 11
Hidrogênio	0,000 05
Xenônio	0,000 008 7



## Como resfriar gás?: Exemplo: Expansão Adiabática



# Ciclo Stirling



*ciclo Stirling*

# Ciclo Collins

## Liquefação de gases (N<sub>2</sub> e He)

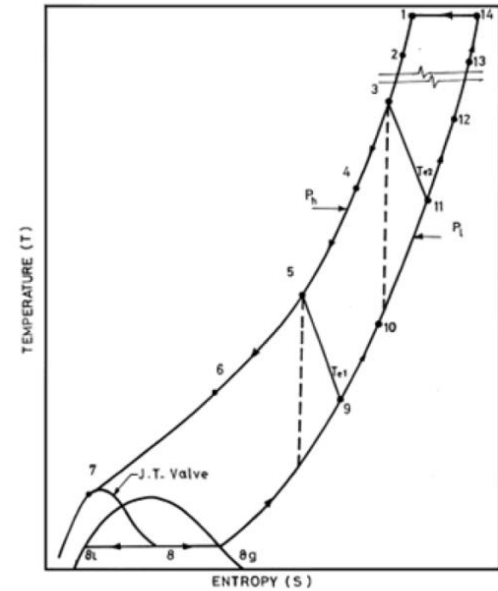
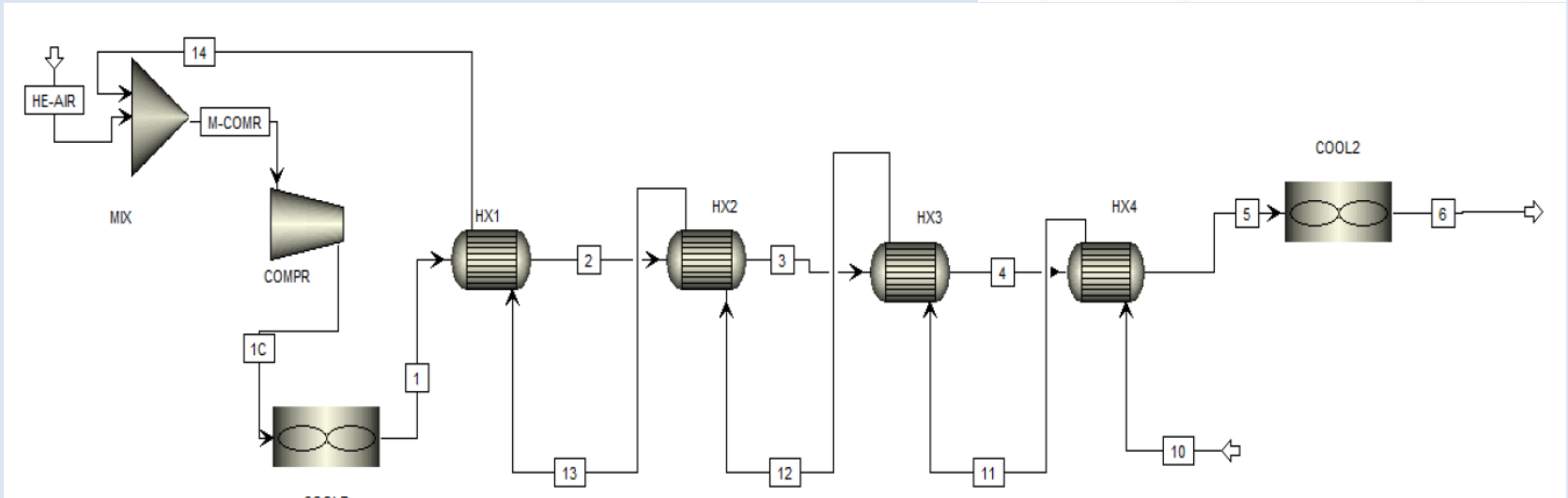


Figure2.4. T-S diagram of Collins Helium Liquefaction Cycle





# Hélio líquido

**De onde vem o He:** vem do gás natural (geralmente metano), que pode ter até 0,5 % de hélio em alguns lugares.

GÁS	% VOLUME
Nitrogênio	78,08
Oxigênio	20,95
Argônio	0,93
Dióxido de Carbono	0,033
Neon	0,001 8
Hélio	0,000 524
Metano	0,000 2
Criptônio	0,000 11
Hidrogênio	0,000 05
Xenônio	0,000 008 7

**Temperatura de liquefação:** 4 K

**Distribuição no IFGW:** Dewars

**Armazenamento:** Dewars

**Recuperação no IFGW:** SIM



# CRIOGENIA

## **Na natureza**

Temperatura no espaço longe das estrelas ~ 2K  
Estados da Matéria (sólido, líquido, gasoso, plasma,  
“condensação de Bose-Einstein”)

## **Preparação e estudo de materiais**

Supercondutividade  
Mecanismos de transporte em materiais  
Estrutura da matéria (EPR, Luminescência, etc)

## **Outros**

Bombas de vácuo  
Armadilhas para vapor d'água e óleo  
Medicina  
Conservação de alimentos e outros  
Refrigeração (ar condicionado, etc)

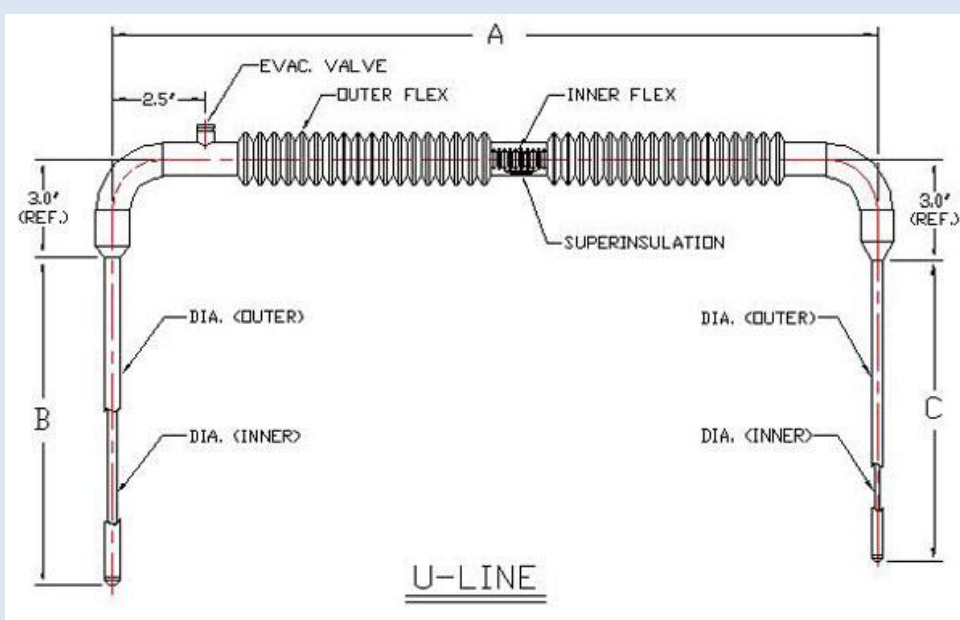
## Superfluidez do hélio-4

Estado da matéria (bósons) no qual a viscosidade é zero, assim fluindo sem perda de energia cinética. Este efeito é consequência da mecânica quântica que requer quantidades discretas de energia para mudar de estado. No seu estado de energia mínima, não é possível alterar sua energia, nem mesmo por fricção (viscosidade zero). Não havendo fricção o fluido supera a gravidade devido às forças de adesão entre fluido e paredes.

**Características:** viscosidade zero (flui espontaneamente para fora do seu recipiente) e condutividade muito alta (não forma bolhas).

Superfluidez  $\neq$  condensado Bose-Einstein.

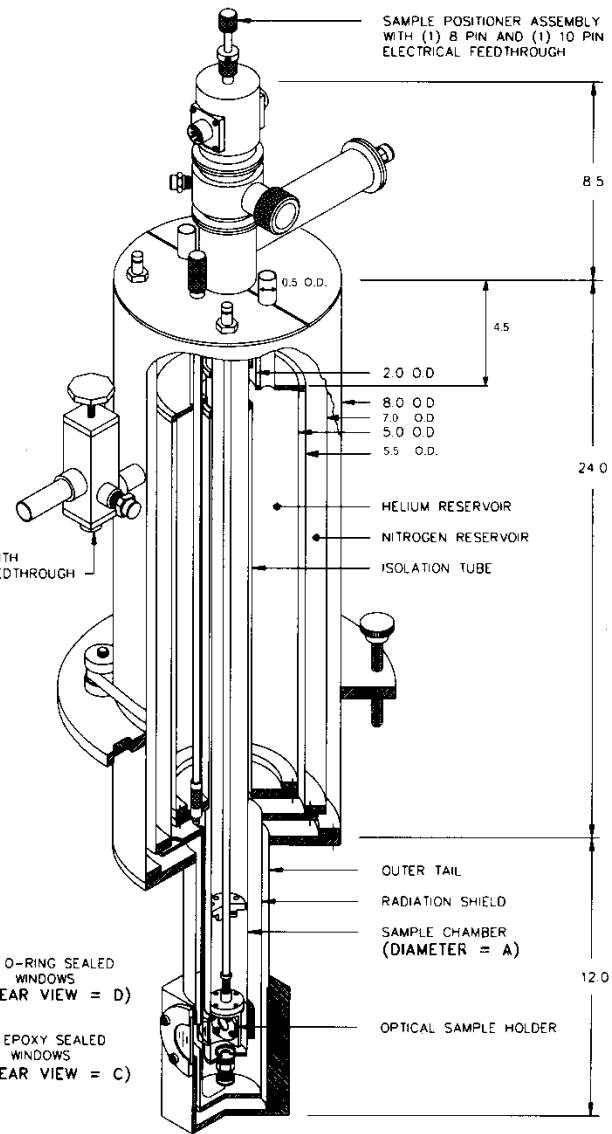
**Condensado de Bose-Einstein:** quando as partículas (bósons) atingem o estado quântico mais baixo próximo do zero Kelvin. Apresentam efeitos quânticos macroscópicos. Os átomos condensam-se, dando origem a um único superátomo macroscópico, em que todos os átomos apresentam propriedades idênticas (ex.: Hélio-4, sódio, rubídio)



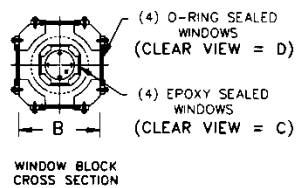
# Superfluidiz de Hélio

NOTES:  
 1. ALL DIMENSIONS ARE FOR REFERENCE PURPOSES  
 2. UNITS = INCHES

## Criostato



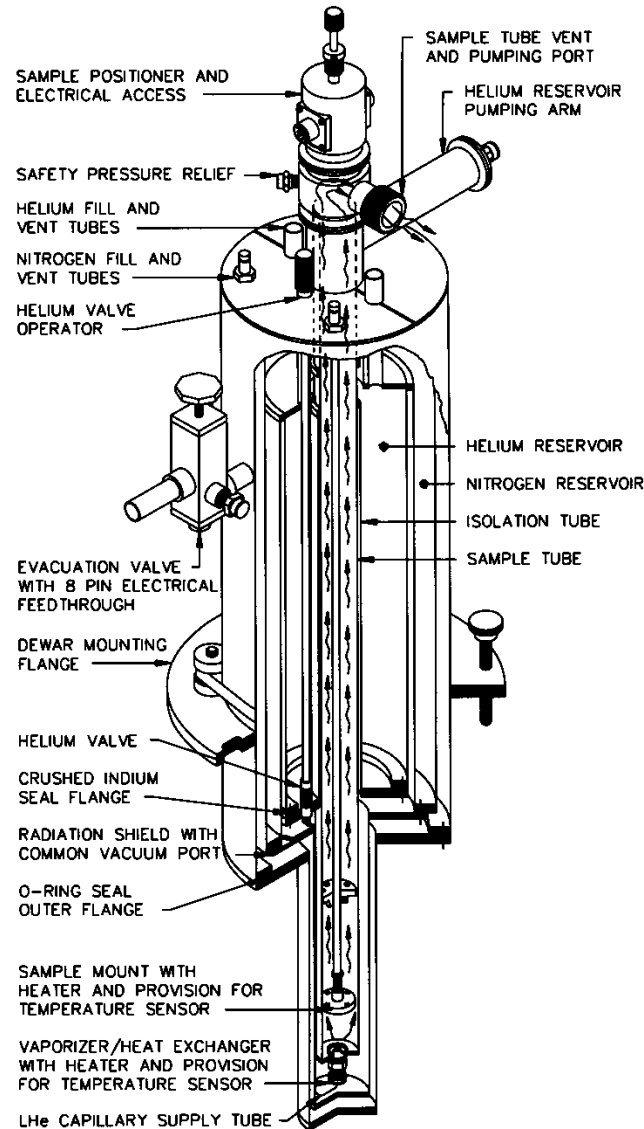
OPTION	A	B	G	D
1	0.75	2.75	0.5	0.75
2	1.0	3.0	0.62	1.0
3	1.5	3.25	0.75	1.25





# Superfluidez do Hélio

## Detalhes do Criostato



TYPICAL SUPERVARITEMP SYSTEM

## Efeito termoacústico

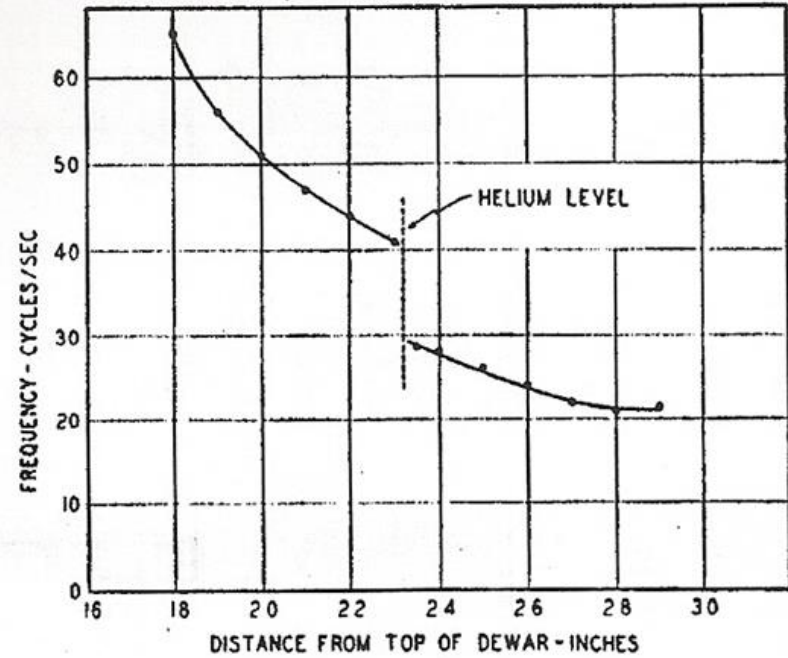
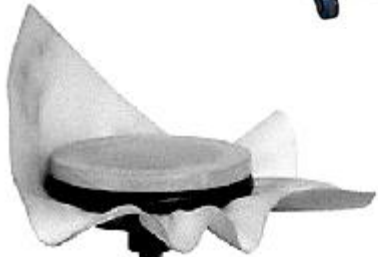


FIG. 1. Frequency of oscillation vs position of cold end for a  $\frac{1}{4}$  in. o.d. tube oscillating in a 25-liter storage Dewar.

# Baixando a temperatura do hélio

Tabela adicional  
Pressão de Vapor – Temperatura do Hélio

P (mmHg)	<sup>3</sup> He (K)	<sup>4</sup> He (K)			
800	3,2395	4,2700	100	1,7881	2,6354
800	3,2395	4,2700	90	1,7387	2,5781
780	3,2152	4,2427	80	1,6856	2,5163
760	3,1905	4,2150	70	1,6279	2,4489
740	3,1653	4,1868	60	1,5646	2,3745
720	3,1396	4,1580	50	1,4939	2,2911
700	3,1134	4,1287	45	1,4550	2,2450
680	3,0866	4,0989	40	1,4131	2,1952*
660	3,0594	4,0684	35	1,3676	2,1413
640	3,0315	4,0373	30	1,3176	2,0827
620	3,0030	4,0056	25	1,2617	2,0174
600	2,9739	3,9731	20	1,1978	1,9427
580	2,9441	3,9399	18	1,1692	1,9092
560	2,9136	3,9059	16	1,1384	1,8729
540	2,8824	3,8711	14	1,1049	1,8333
520	2,8504	3,8354	12	1,0679	1,7893
500	2,8175	3,7987	10	1,0266	1,7396
480	2,7838	3,7611	9	1,0038	1,7120
460	2,7491	3,7224	8	0,9791	1,6820
440	2,7133	3,6825	7	0,9523	1,6490
420	2,6765	3,6414	6	0,9227	1,6123
400	2,6385	3,5990	5	0,8894	1,5707
380	2,5992	3,5551	4	0,8512	1,5221
360	2,5586	3,5097	3,5	0,8295	1,4943
340	2,5164	3,4625	3	0,8055	1,4632
320	2,4726	3,4134	2,5	0,7785	1,4277
300	2,4269	3,3622	2	0,7474	1,3863
290	2,4033	3,3357	1,5	0,7101	1,3359
280	2,3792	3,3086	1	0,6624	1,2699
270	2,3545	3,2808	0,9	0,6508	1,2536
260	2,3292	3,2524	0,8	0,6383	1,2359
250	2,0333	3,2231	0,7	0,6246	1,2162
240	2,2767	3,1931	0,6	0,6093	1,1942
230	2,2493	3,1622	0,5	0,5920	1,1691
220	2,2212	3,1304	0,4	0,5720	1,1395
210	2,1922	3,0976	0,3	0,5477	1,1032
200	2,1623	3,0637	0,2	0,5163	1,0554
190	2,1314	3,0287	0,1	0,4693	0,9814
180	2,0994	2,9924	0,08	0,4556	0,9595
170	2,0663	2,9546	0,06	0,4391	0,9325
160	2,0319	2,9153	0,04	0,4174	0,8967
150	1,9959	2,8744	0,02	0,3844	0,8407
140	1,9585	2,8315	0,01	0,3557	0,7907
130	1,9192	2,7865	0,005	0,3305	
120	1,8779	2,7390	0,001	0,2829	
110	1,8343	2,6888			

\* - Transição do He<sup>I</sup> para He<sup>II</sup> em  
T = 2,1720K  
P = 37,80mm Hg

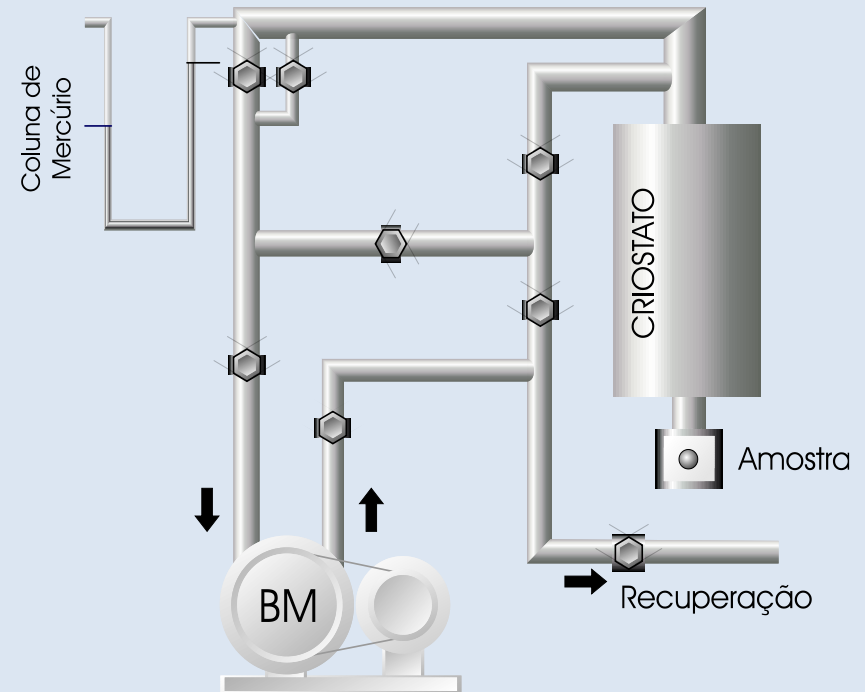
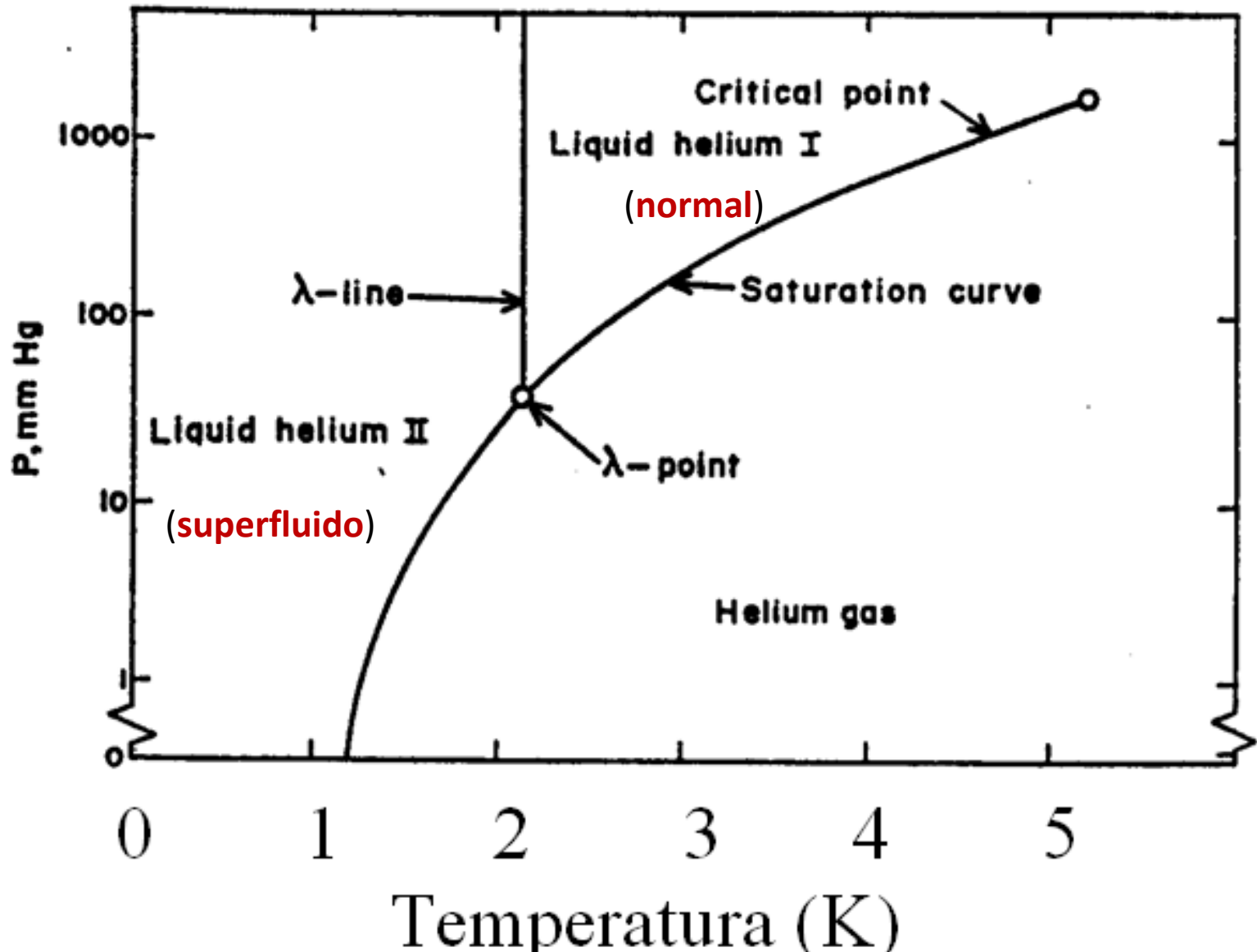


Figura 1: Montagem Experimental.

## Diagrama de fase do Hélio



***Bibliografia:*** Vacuum Technology, A. Roth  
Advanced Cryogenics, C. A. Bailey

***Bibliografia complementar:*** Glow Discharge Processes, B. Chapman