

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

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**

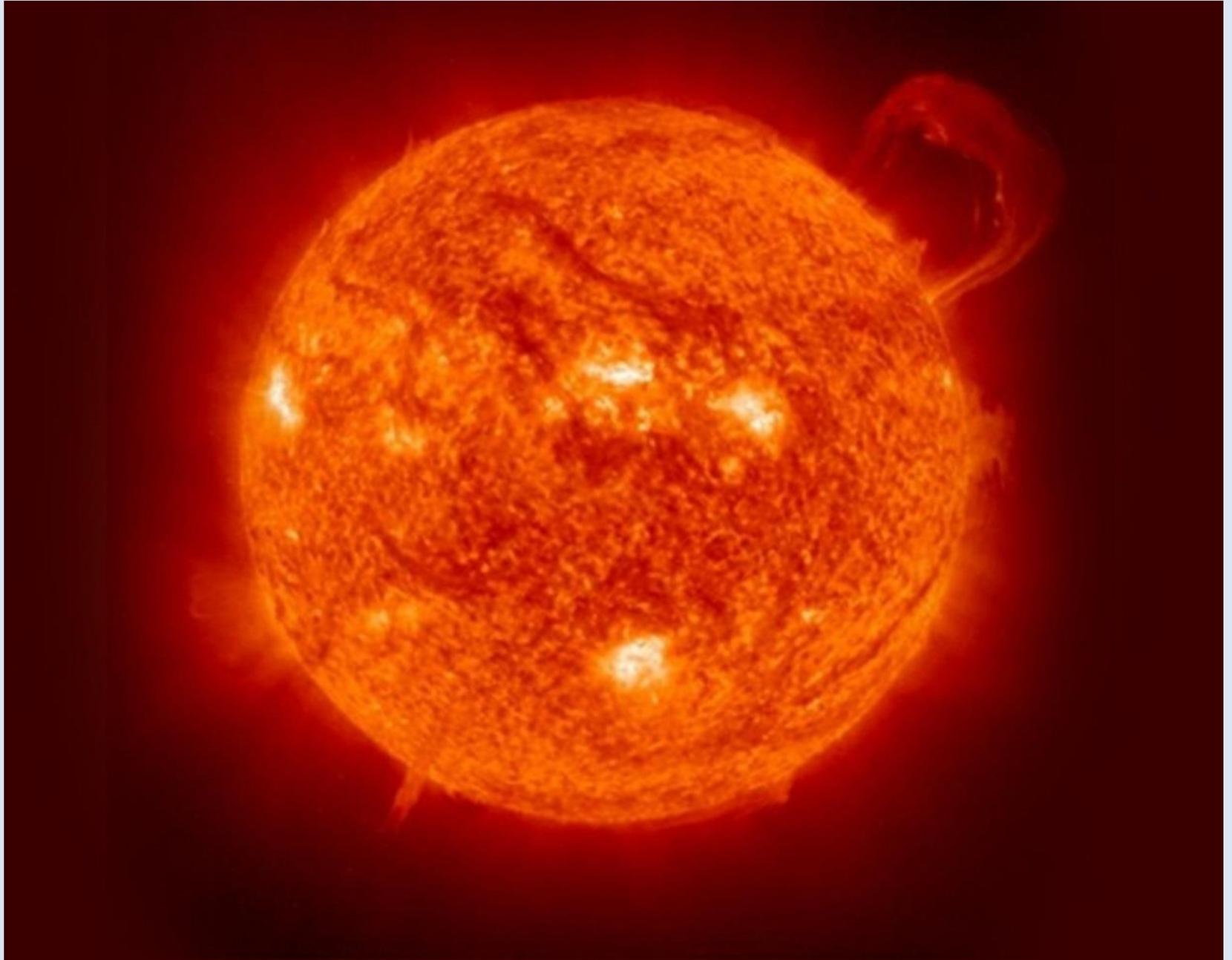
Outros estados exóticos

Condensado de Bose-Einstein
Superfluidez



Temperatura

Exemplos de Plasma: Estrelas

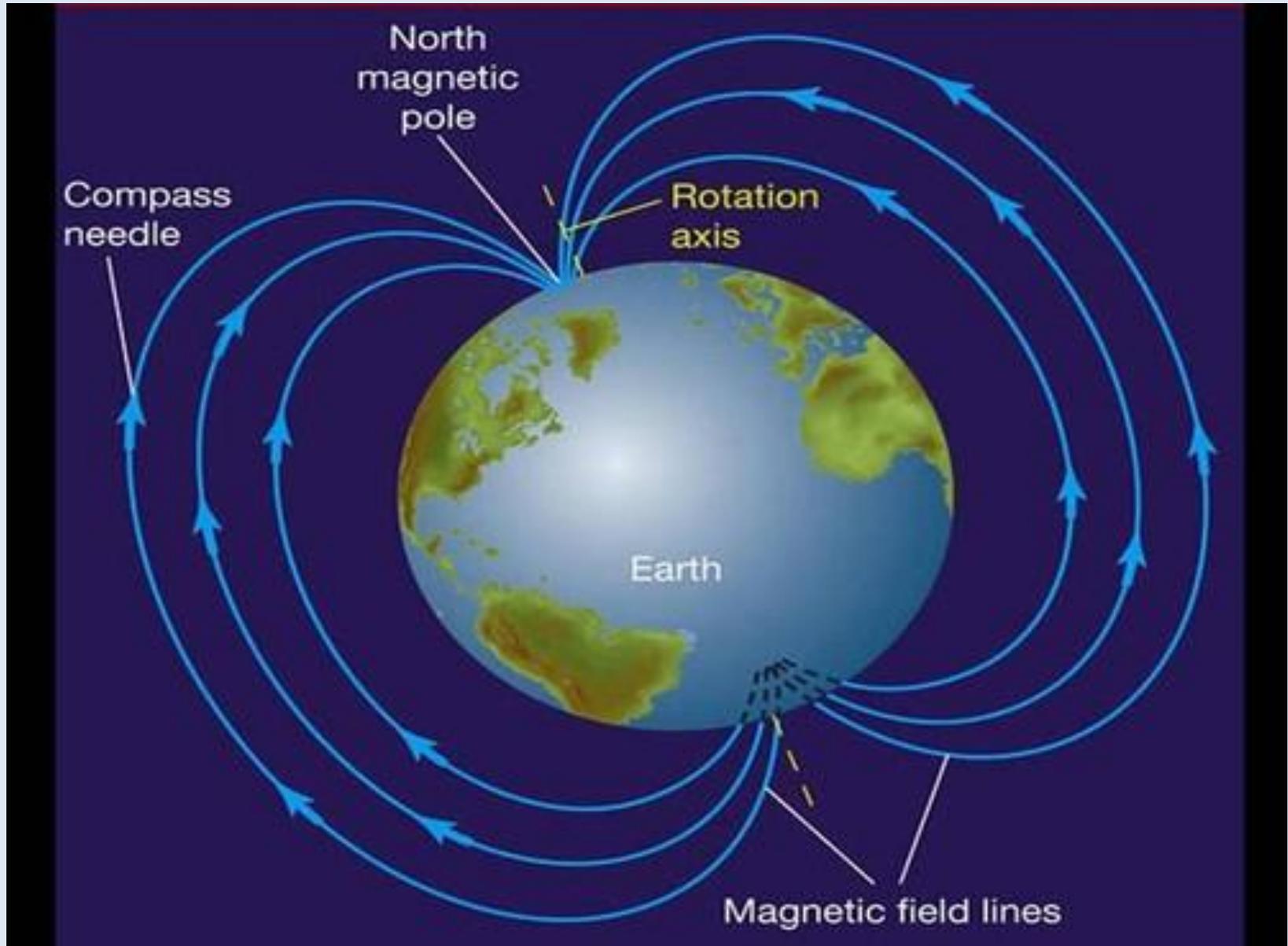


PLASMA

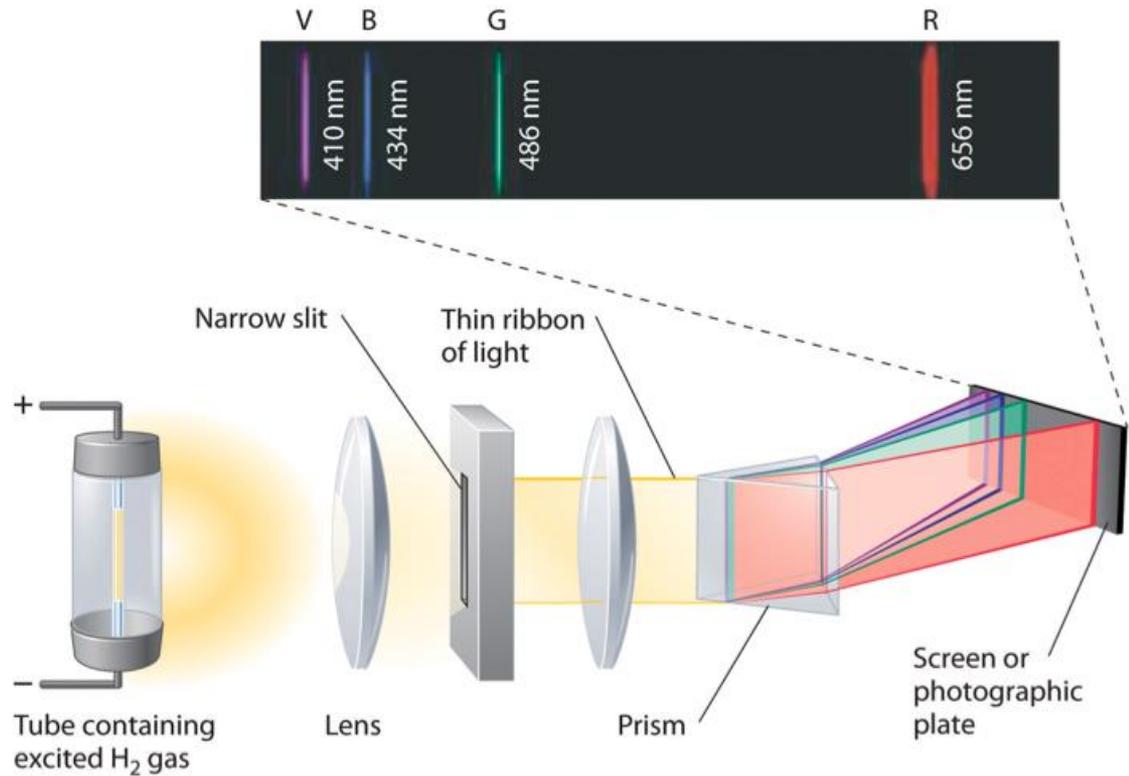
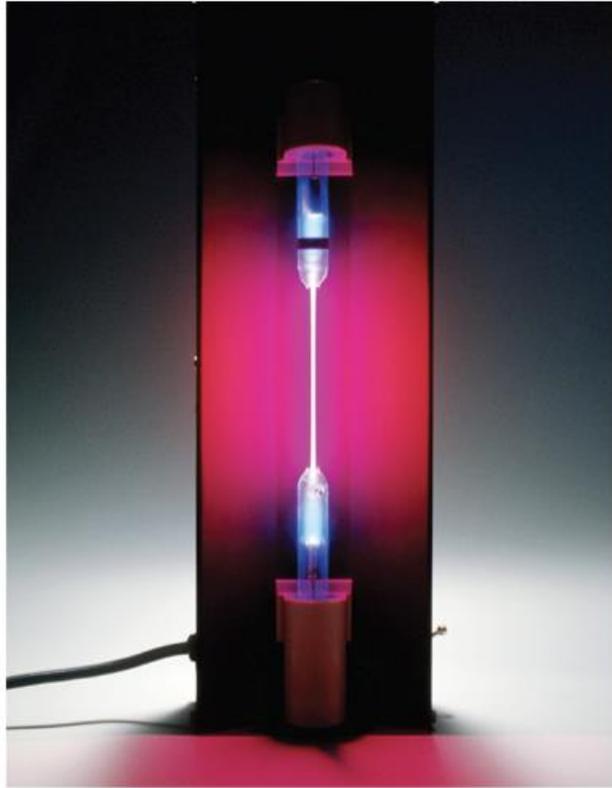


<https://www.youtube.com/watch?v=Inufy4FdnRk>

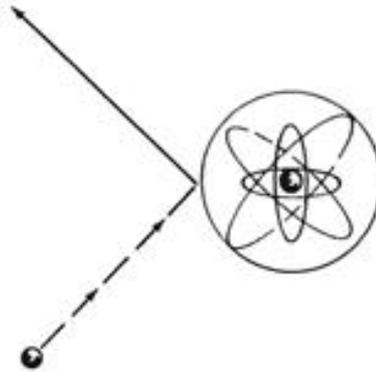
Campo Magnético da Terra



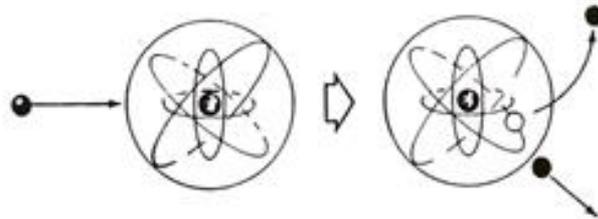
Espectroscopia Atômica e Molecular



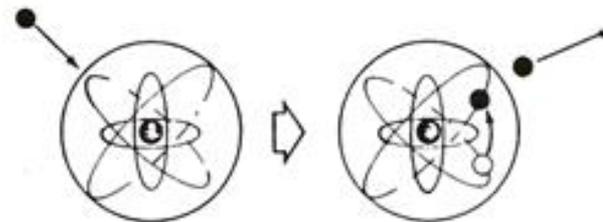
Colisão elástica elétron-átomo



Ionização por impacto com elétron



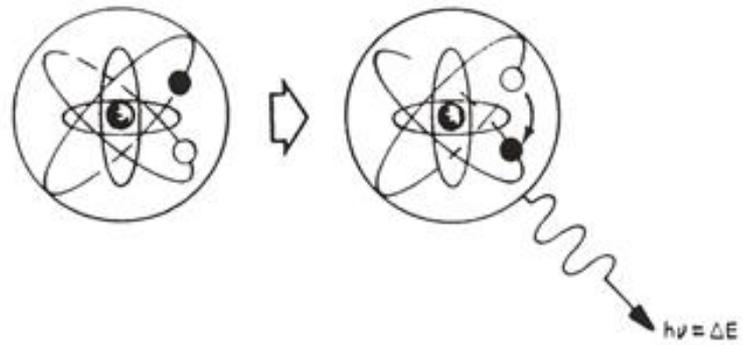
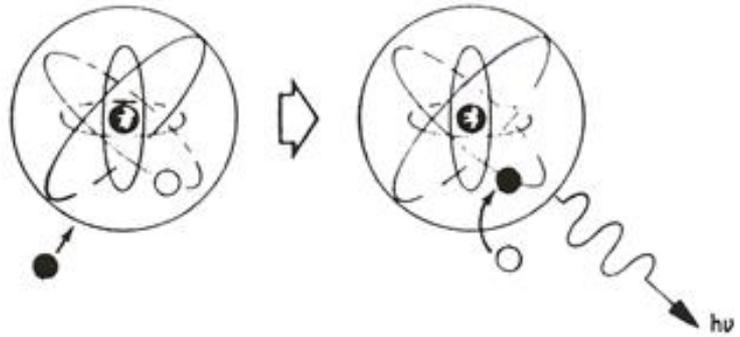
Excitação por impacto com elétron



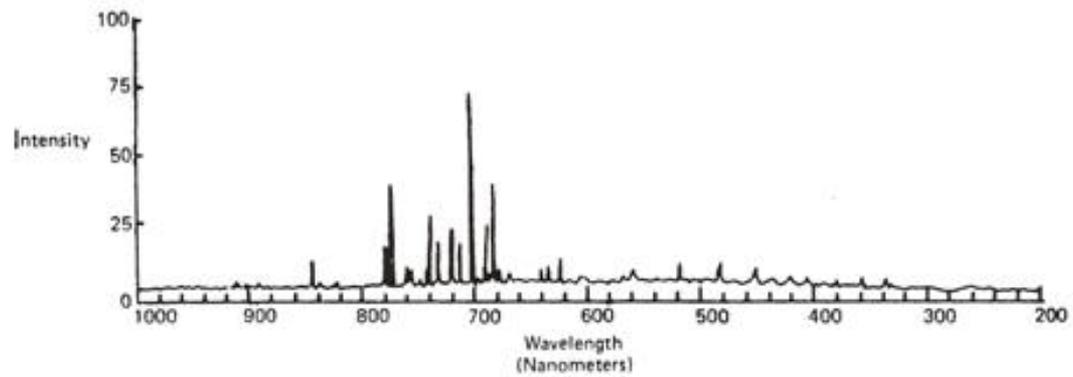
Ionisation.swf

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

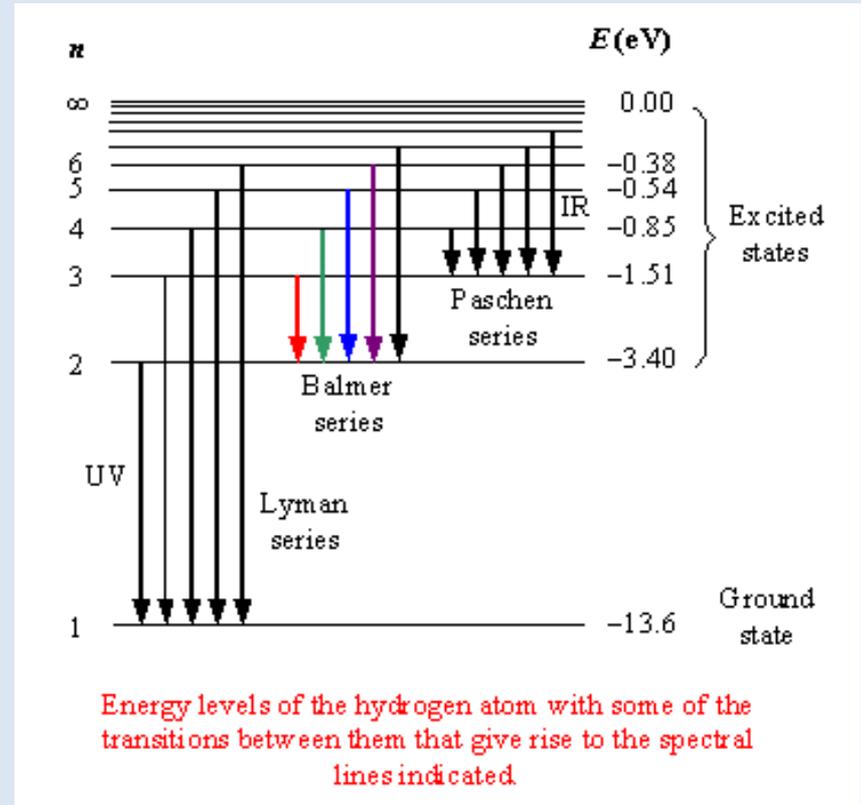
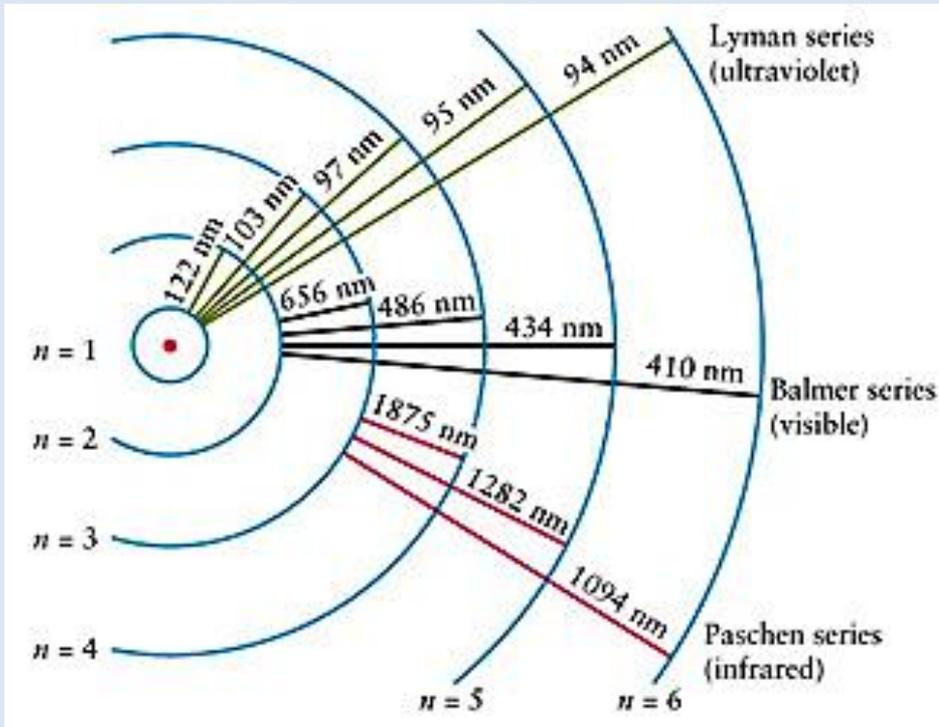
Recombinação Radiativa



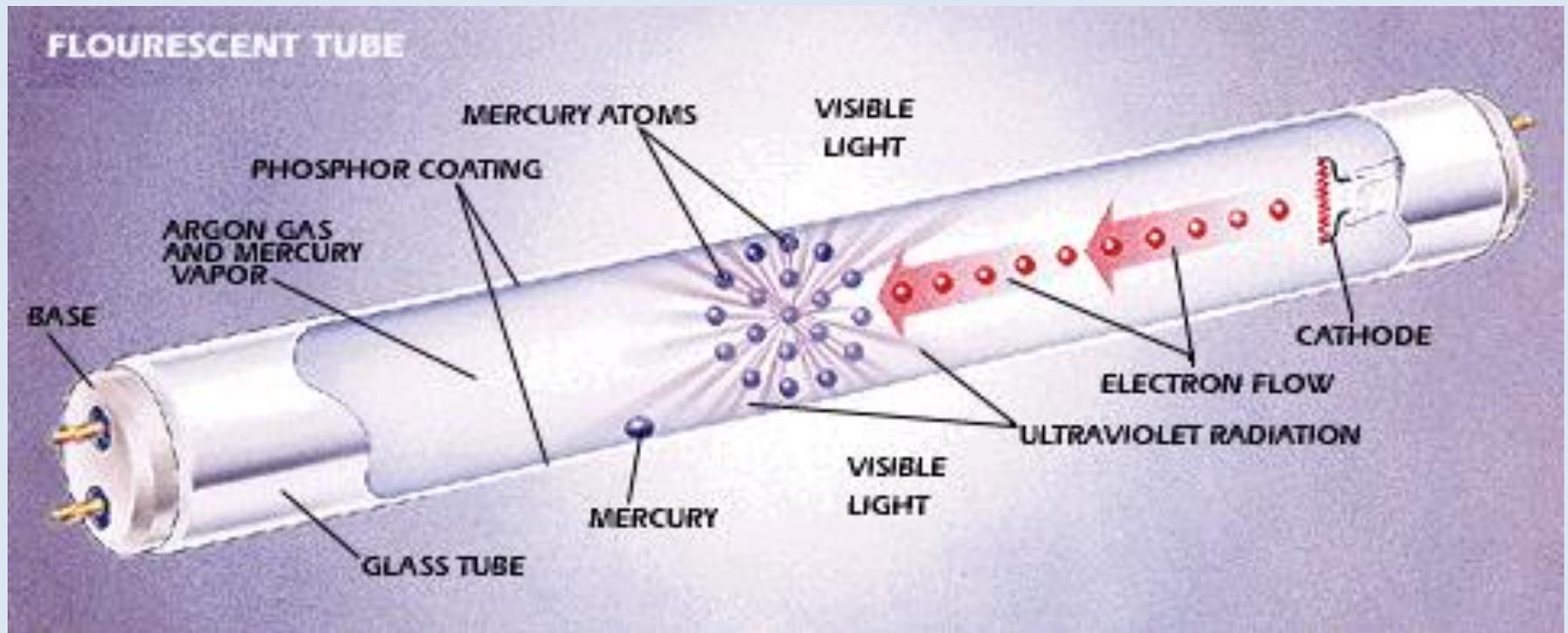
Relaxation (or de-excitation)



Espectroscopia Atômica e Molecular

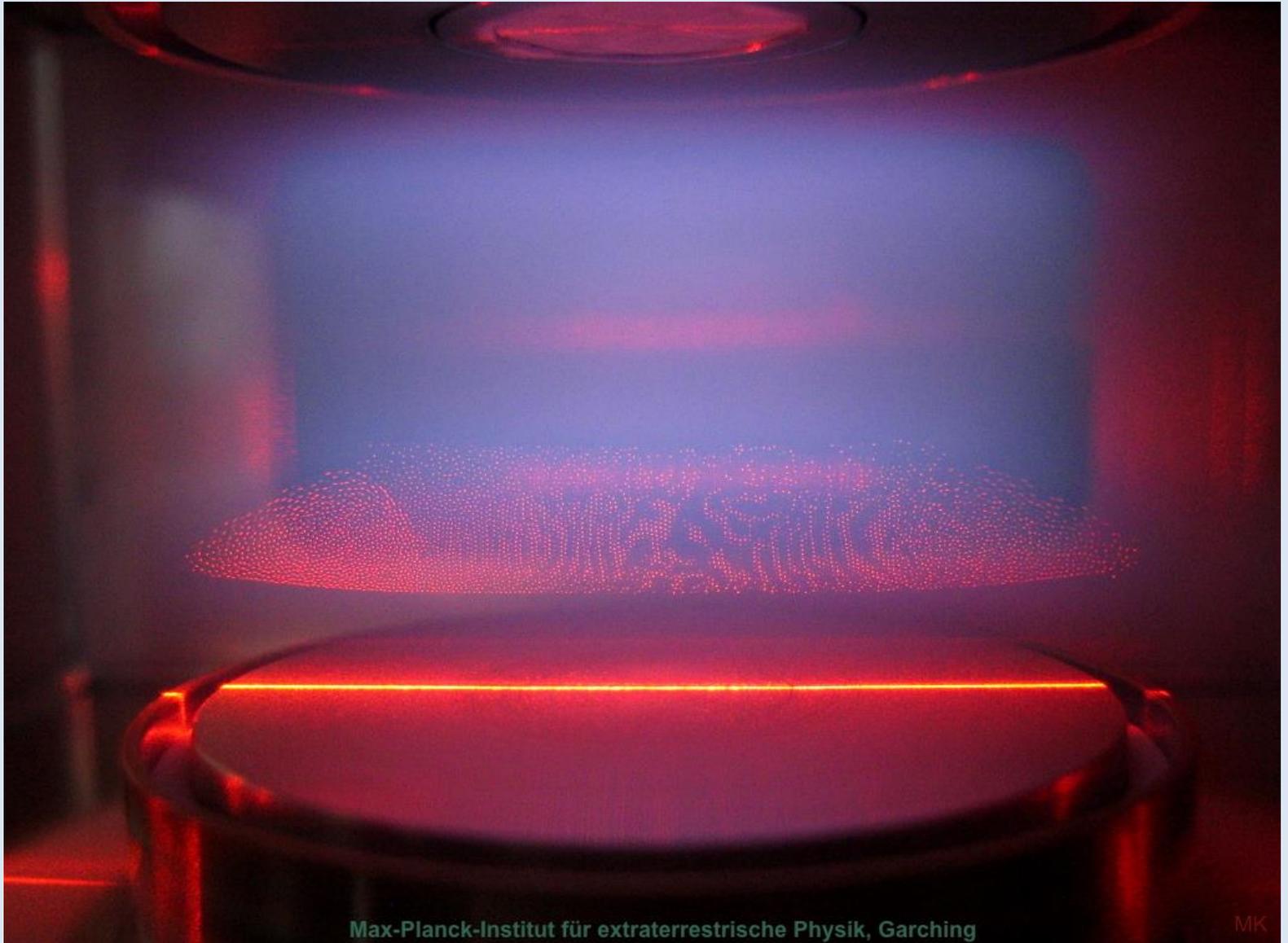


Plasma: Lâmpada incandescente



Plasma

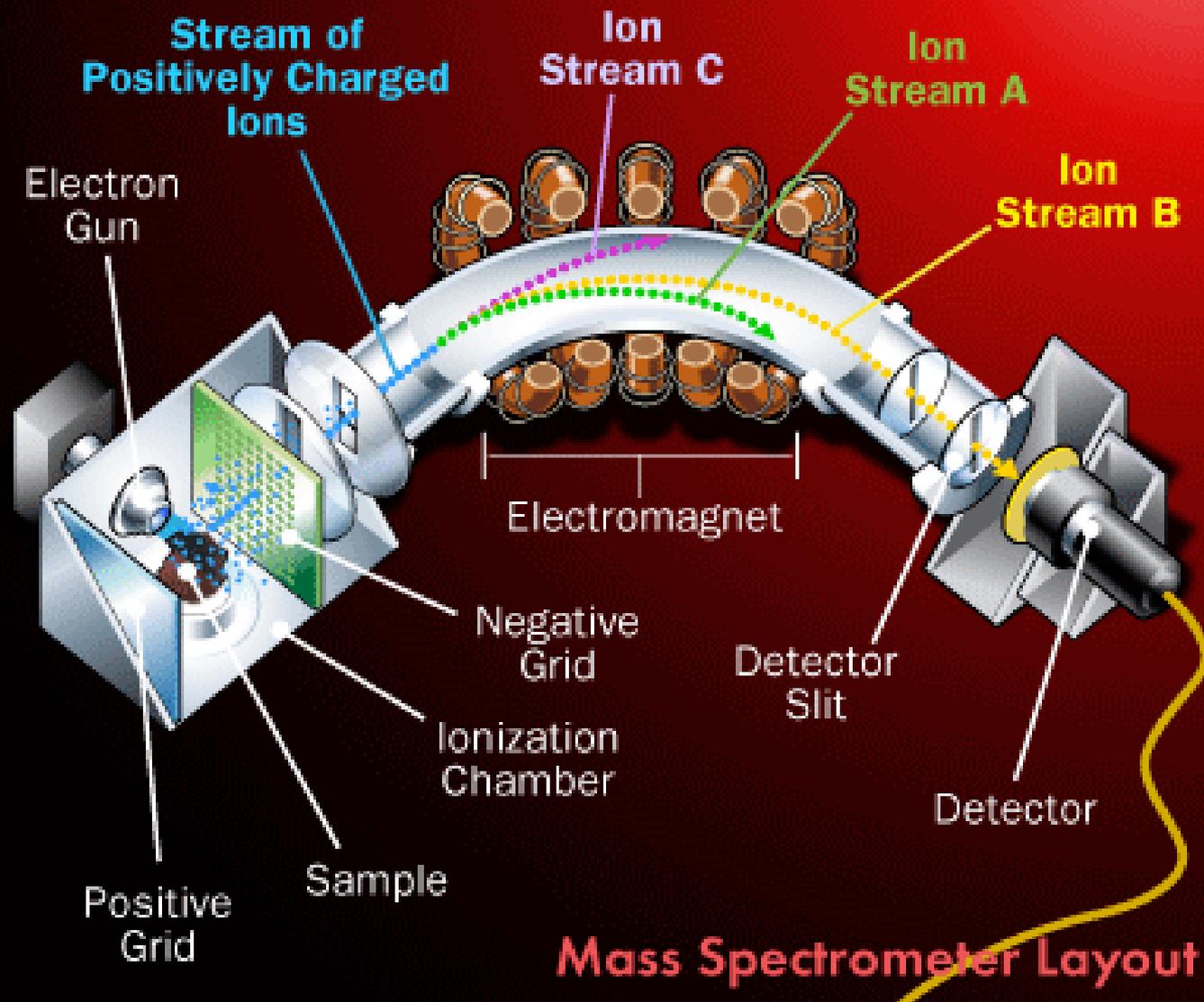
(descarga luminescente: Plasma frio)



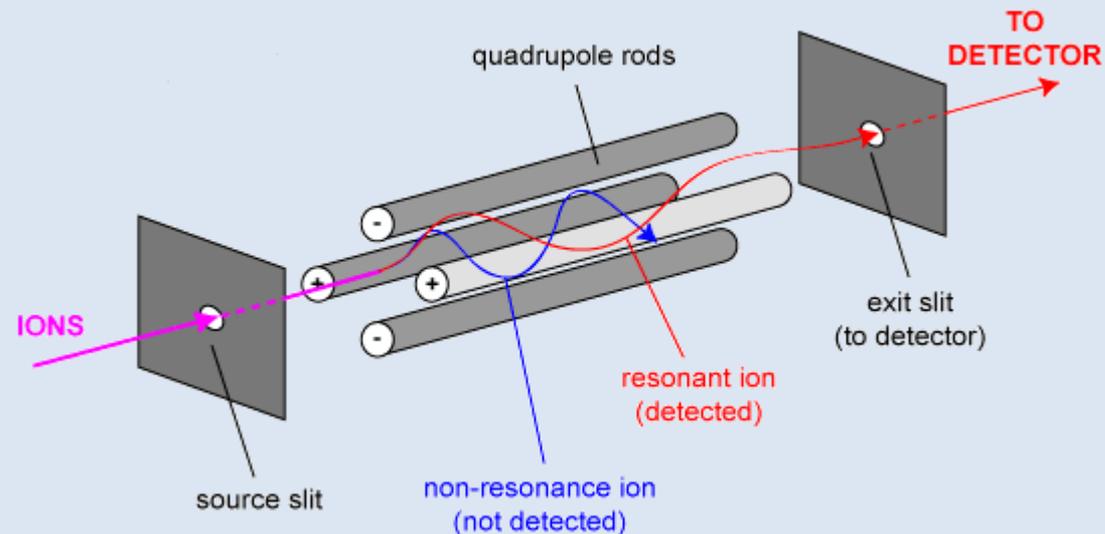
Espectrômetro de massa

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

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 N₂: compressão e adsorção

Temperatura de liquefação: 77K

Distribuição no IFGW: dewars

Armazenagem no IFGW : dewars

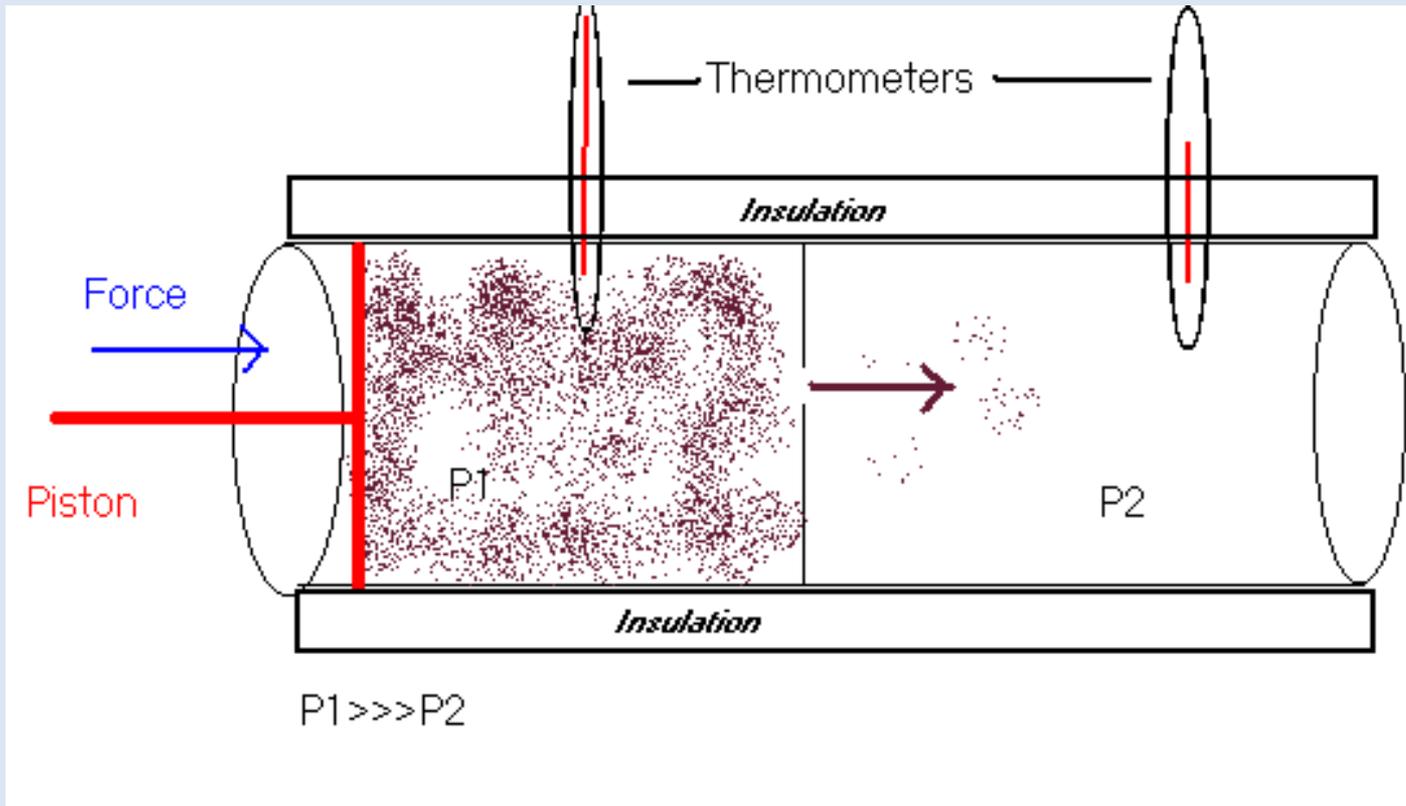
Recuperação? NÃO

COMPOSIÇÃO DO AR SECO

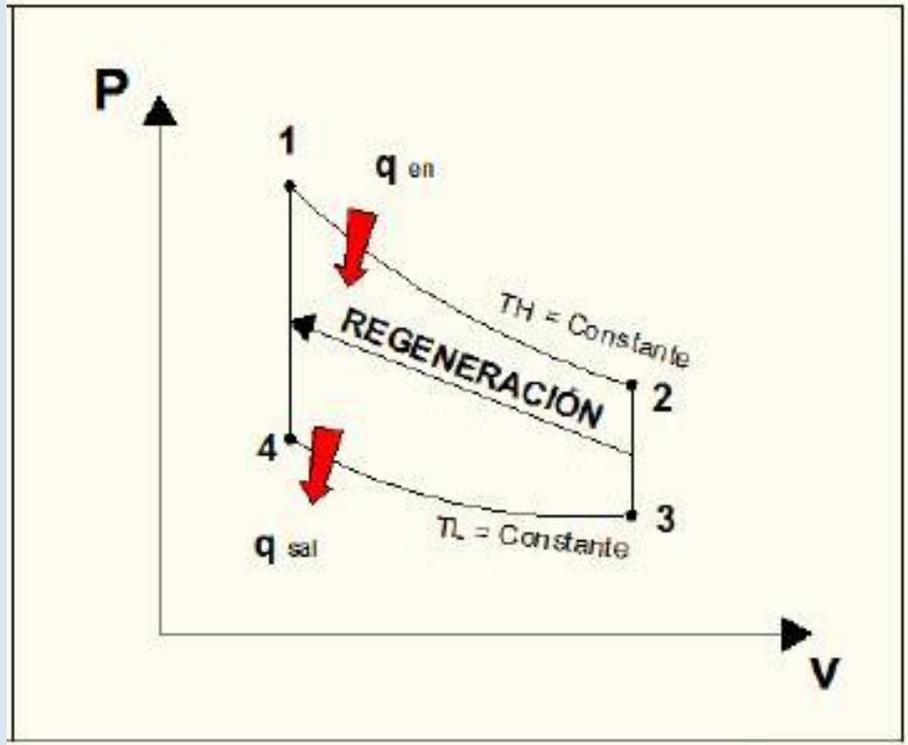
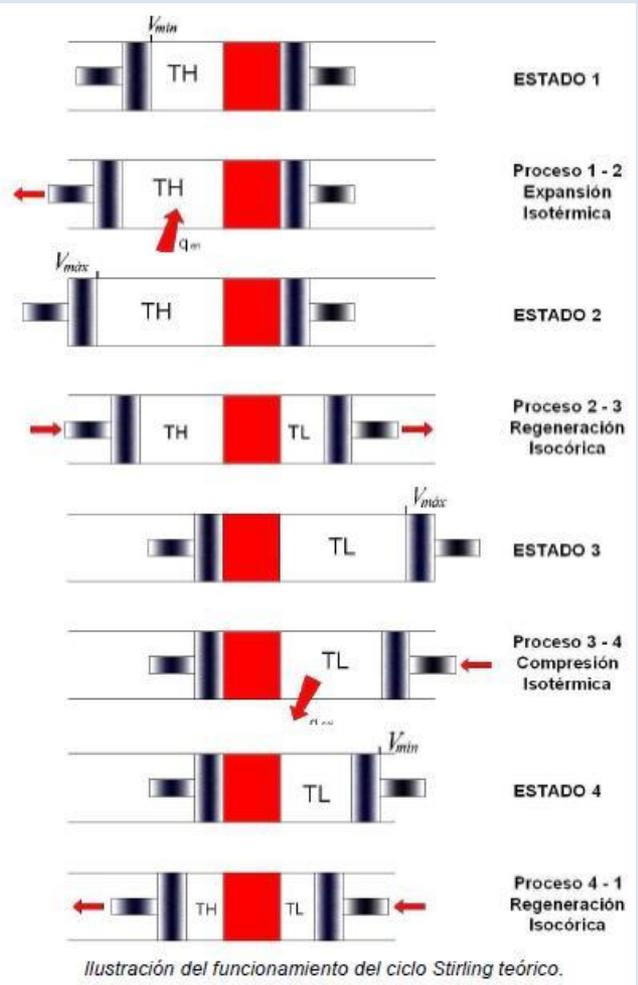
GÁS	% VOLUME
Nitrogênio	78,08
Oxigênio	20,95
Argônio	0,93
Dióxido de Carbono	0,033
Neon	0,001 8
Hélio	0,000 524
Metano	0,000 2
Criptônio	0,000 11
Hidrogênio	0,000 05
Xenônio	0,000 008 7



Como resfriar gás?: Exemplo: Expansão Adiabática



Ciclo Stirling



ciclo Stirling

Ciclo Collins

Liquefação de gases (N2 e He)

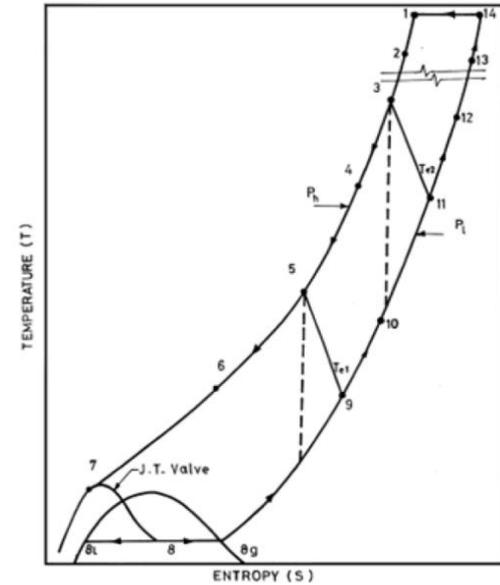
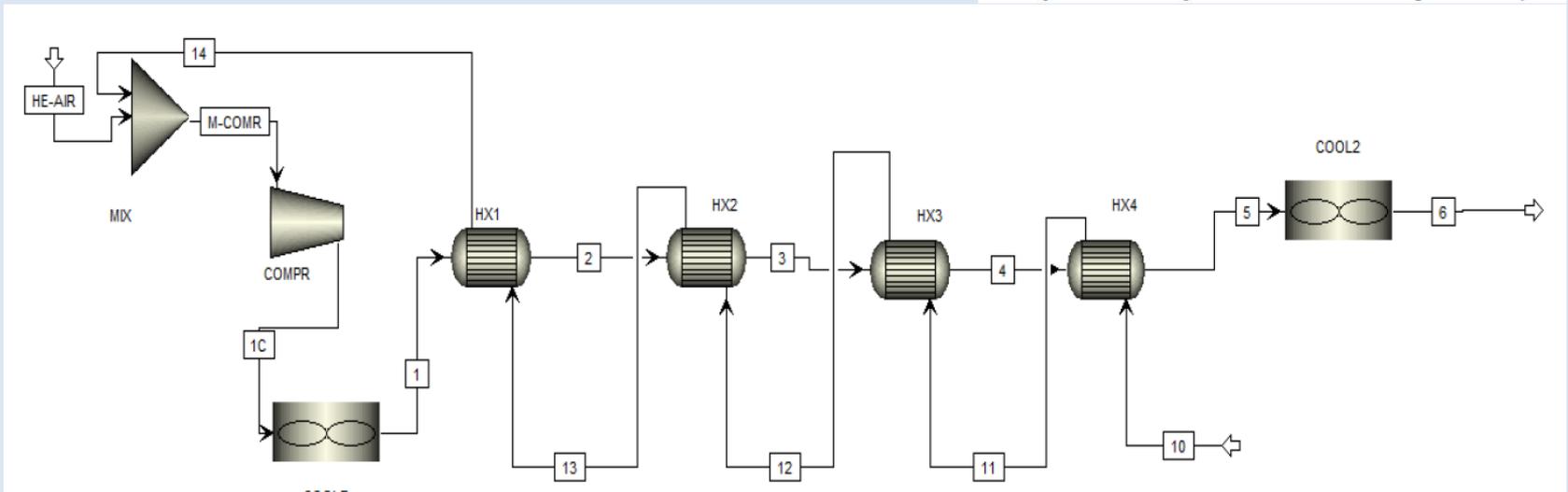


Figure2.4. T-S diagram of Collins Helium Liquefaction Cycle



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)

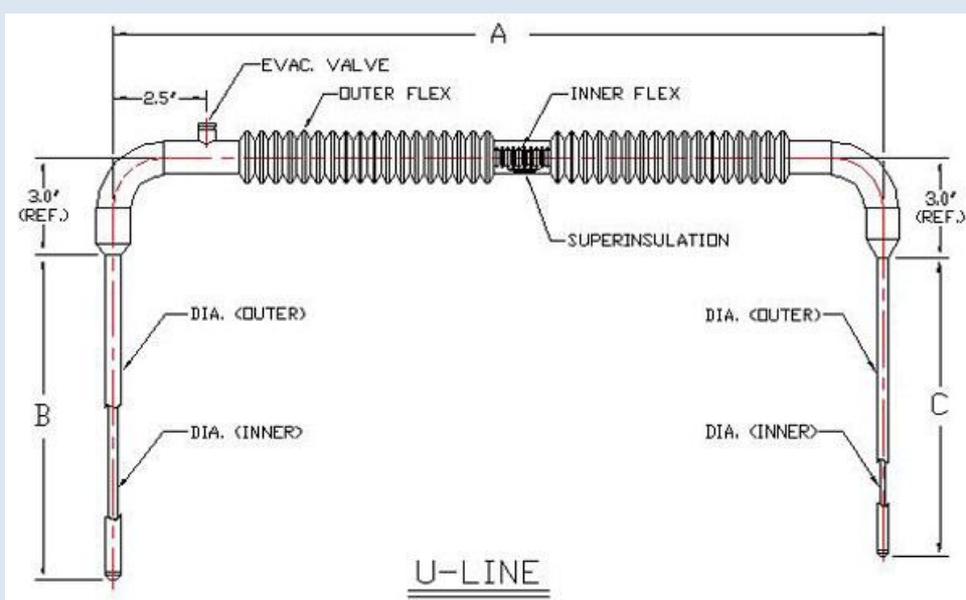
Superfluidez do hélio-4

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.

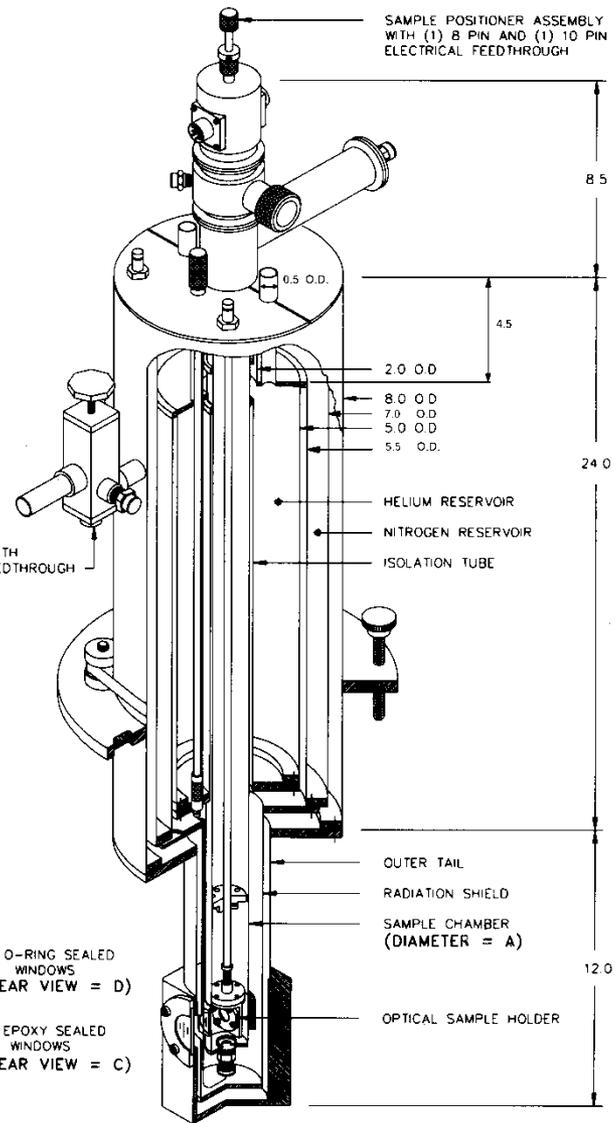
Condensado de Bose-Einstein: quando as partículas (bósons) atingem o estado quântico mais baixo próximo do zero Kelvin. Apresentam efeitos quânticos macroscópicos. Os átomos condensam-se, dando origem a um único superátomo macroscópico, em que todos os átomos apresentam propriedades idênticas (ex.: Hélio-4,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



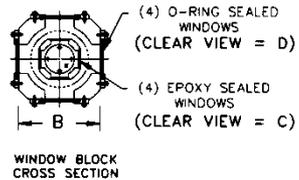
Superfluidiz de Hélio

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

Criostato

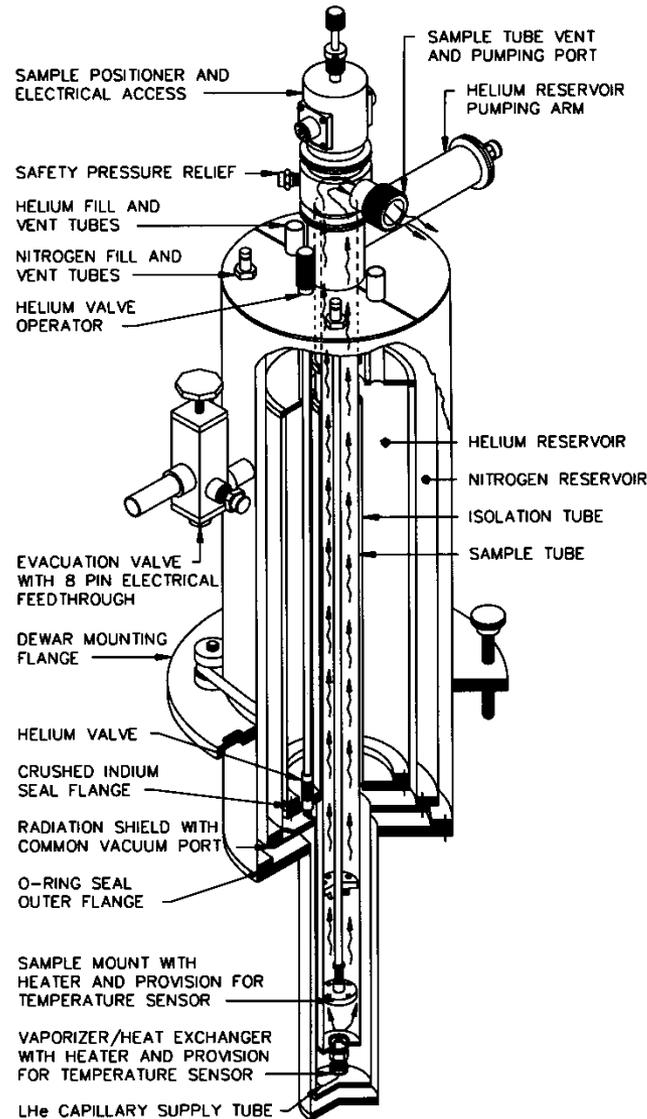


OPTION	A	B	G	D
1	0.75	2.75	0.5	0.75
2	1.0	3.0	0.62	1.0
3	1.5	3.25	0.75	1.25



Superfluidez do Hélio

Detalhes do Criostato



TYPICAL SUPERVARITEMP SYSTEM

Efeito termoacústico

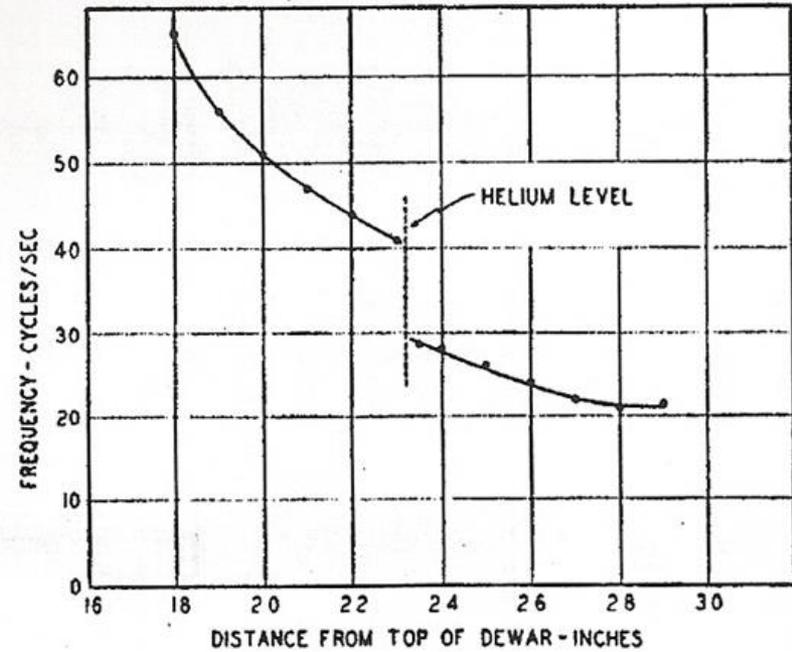
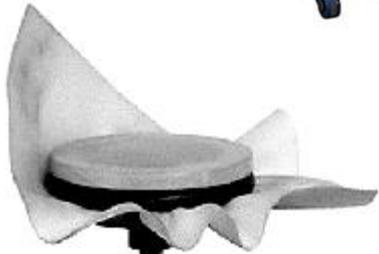


FIG. 1. Frequency of oscillation vs position of cold end for a $\frac{1}{8}$ in. o.d. tube oscillating in a 25-liter storage Dewar.

Baixando a temperatura do hélio

Tabela adicional
Pressão de Vapor – Temperatura do Hélio

P (mmHg)	³ He (K)	⁴ 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^I para He^{II} em
T = 2,1720K
P = 37,80mm Hg

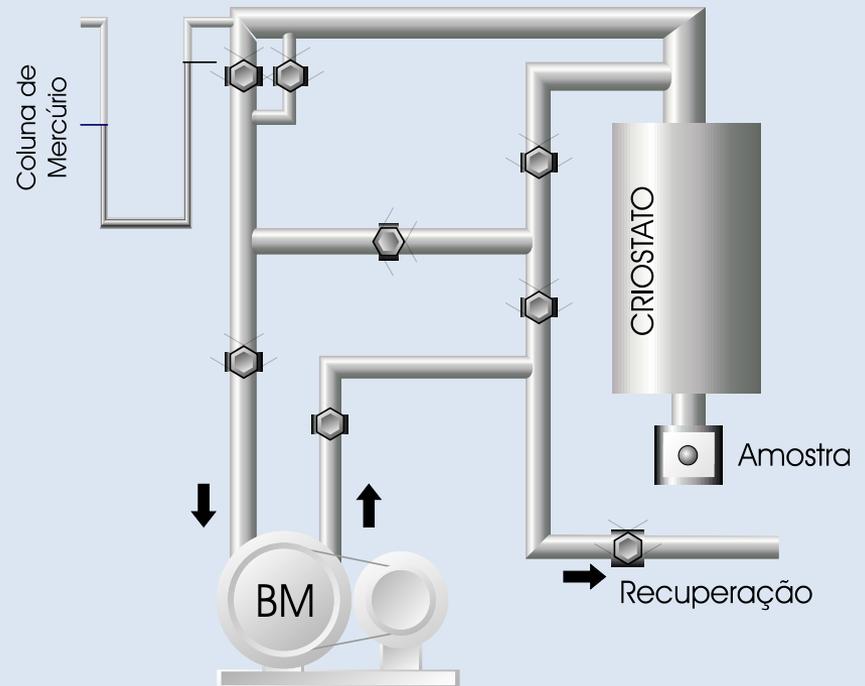
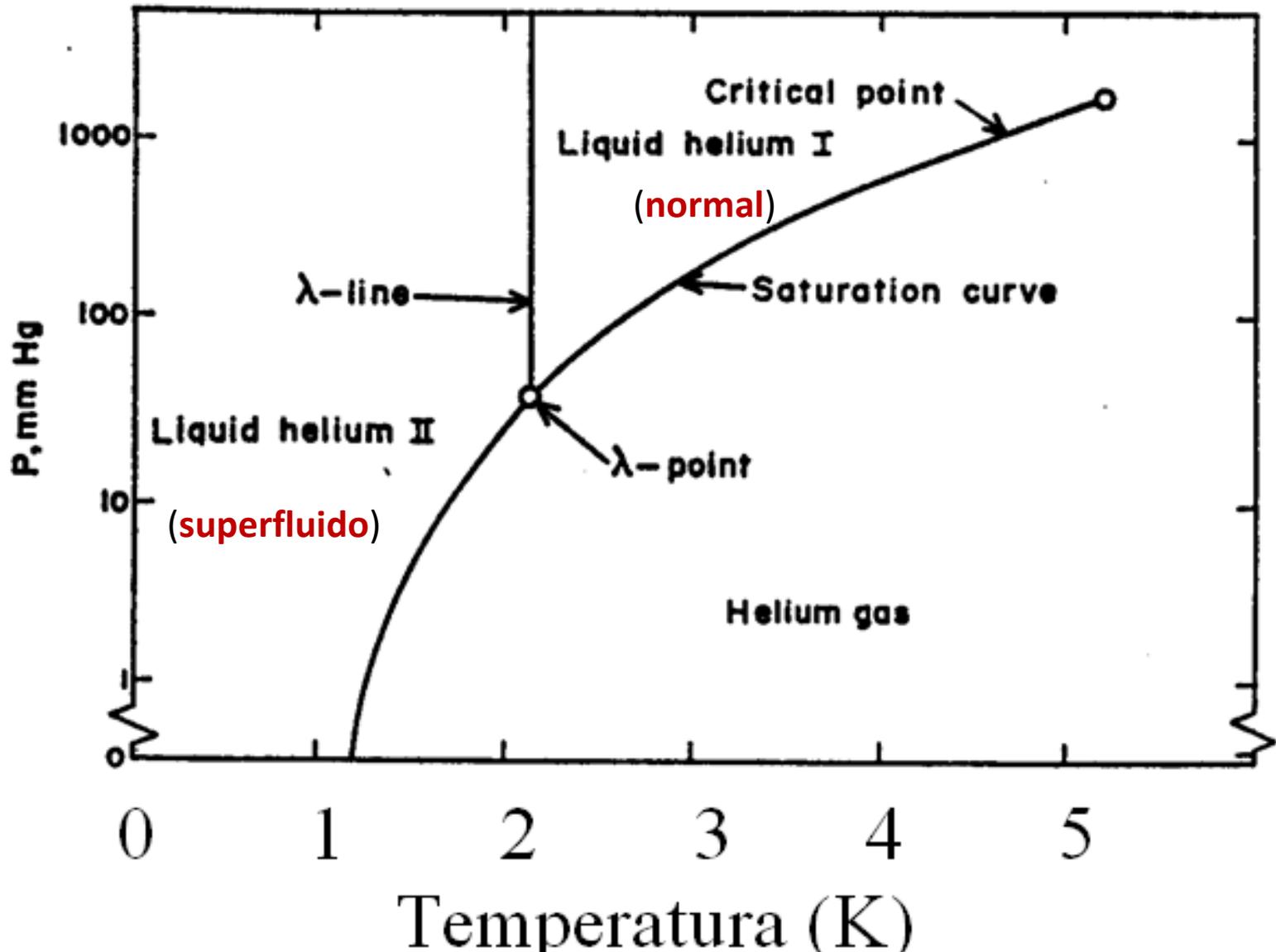


Figura 1: Montagem Experimental.

Diagrama de fase do Hélio



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

Bibliografia complementar: Glow Discharge Processes, B. Chapman