

UFSC – DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
FSC 5151: Laboratório de Física Moderna I

## **Estudo da excitação e ionização atômicas** **(experimento de Franck-Hertz)**

### **Objetivos**

Medir o primeiro potencial de excitação do mercúrio e xenônio. Medir o potencial de ionização do xenônio.

### **Fundamentos da teoria**

O estudo da excitação atômica precedeu em diversas décadas a elaboração de um modelo atômico apropriado à interpretação dos dados experimentais. Em 1817, Fraunhofer dispersou a luz solar utilizando um prisma e ao invés de observar uma distribuição contínua de luz, detectou raias escuras em diversos pontos do espectro. A explicação desta observação simples nos leva aos primórdios da física atômica. Em 1860, Kirchoff e Bunsen perceberam que a luz emitida através de excitação em lâmpadas de diferentes gases tinha uma impressionante coincidência com as raias escuras do espectro solar. Isto levou à conclusão de que o espectro contínuo emitido pelo Sol era filtrado pela presença de gases nas atmosferas do Sol e da Terra. Este é o princípio da análise espectroscópica dos átomos.

Em 1914 James Franck e Gustav Hertz submeteram um artigo científico para publicação onde relatam um experimento mostrando a existência de um limiar de energia ( $\sim 4,9$  eV) para a absorção de energia por átomos de vapor mercúrio. Neste experimento, elétrons são emitidos, acelerados por uma diferença de potencial e podem ser coletados em uma placa metálica. Porém, este experimento foi feito dentro de um recipiente de vidro e em seu caminho os elétrons podem interagir com os átomos de mercúrio vaporizado. A figura 1 mostra esquematicamente uma construção moderna para o experimento de Franck-Hertz, onde elétrons gerados no catodo são acelerados até a grade. Entre a grade e a placa (anodo) há um potencial levemente repulsivo para os

elétrons e os que conseguem vencê-lo são coletados. A quantidade de elétrons que chega à placa é quantificada através da corrente que passa pelo amperímetro. Por este trabalho, receberam um prêmio Nobel em 1925.

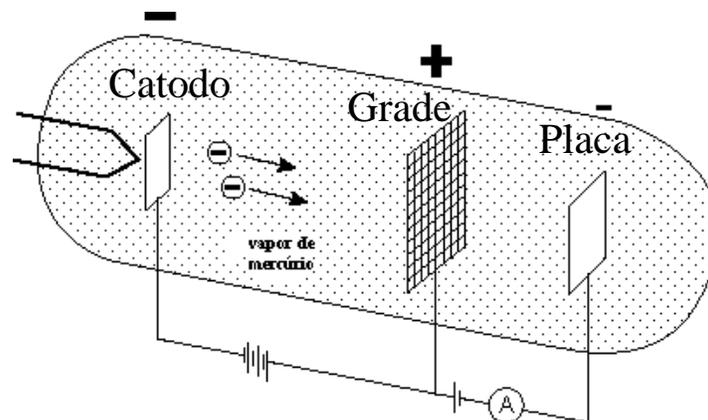


Figura 1. Desenho esquemático de uma válvula triodo usada no experimento de Franck-Hertz. Fonte: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/frhz.html>

Como à temperatura ambiente o mercúrio é líquido, a válvula com mercúrio precisa ser aquecida até  $\sim 170^\circ\text{C}$  para vaporizá-lo. O equipamento disponível no laboratório (Phywe) possui uma ampola com mercúrio que pode ser aquecida em um forno. A voltagem da grade pode ser variada automaticamente através da carga de um capacitor em um circuito RC. Os valores da voltagem na grade e corrente na placa (esta, após amplificação) são processados pela interface Cobra 3 e adquiridos por um microcomputador.

Uma variante apropriada do experimento de Franck Hertz consiste no uso de gases nobres na válvula, dispensando assim seu aquecimento.

### **Experimentos utilizando válvula de Xenônio (Thyratron):**

Vamos utilizar uma válvula triodo comercial que além dos pinos para ligar o filamento tem três pinos para polarizar o cátodo, a grade e o anodo (ou placa). As válvulas thyratron são preenchidas com gás (tipicamente mercúrio, xenônio ou hidrogênio) e usadas para chaveamento de alta tensão e alta corrente. A válvula que vamos usar é preenchida com gás xenônio, sendo bastante apropriada para uso em uma experiência do tipo Franck-Hertz. Vamos fazer dois experimentos: **1) Determinação do primeiro potencial de excitação do xenônio**, onde utilizaremos um potencial que acelera os elétrons gerados no

catodo até a grade e os coleta na placa, **2) Determinação do potencial de ionização do xenônio**, onde elétrons são acelerados até a grade mas não chegam à placa que é polarizada negativamente e atrai os íons positivos  $Xe^+$ .

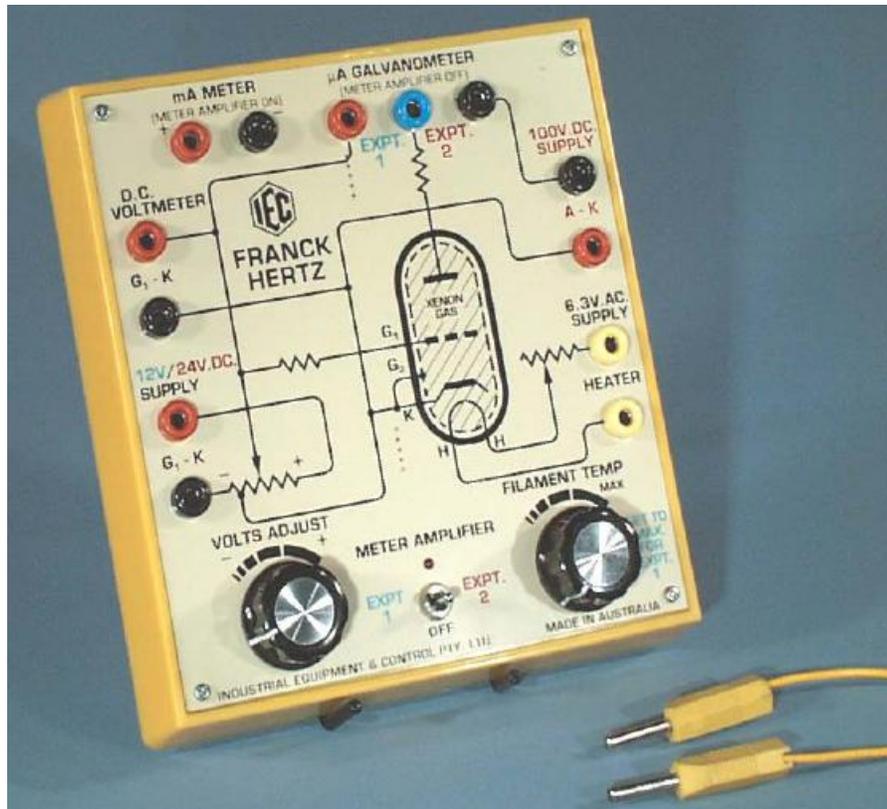


Figura 2) Visão da placa usada para o experimento Franck Hertz - Xenônio

Os dois controles rotatórios vistos na figura 2 são:

**VOLTS ADJUST:** Controla a tensão aplicada na grade. No valor mínimo aplica uma voltagem levemente negativa em relação ao catodo ( $\sim -2$  V) e vai até valores positivos em relação ao catodo. No exp. 1 utilizaremos até +12 V e no exp. 2 até +24 V.

**FILAMENT TEMP:** Controla a voltagem sobre o filamento, o qual altera a temperatura do catodo e faz com que os elétrons sejam ejetados da superfície do catodo.

## EXPERIMENTO 1:

Conecte os terminais conforme o diagrama abaixo. A chave seletora deve estar na posição EXPT. 1. Você irá usar um amperímetro (AMMETER) ao invés de um galvanômetro. Para polarizar a grade use a saída de 12 V na fonte de tensão.

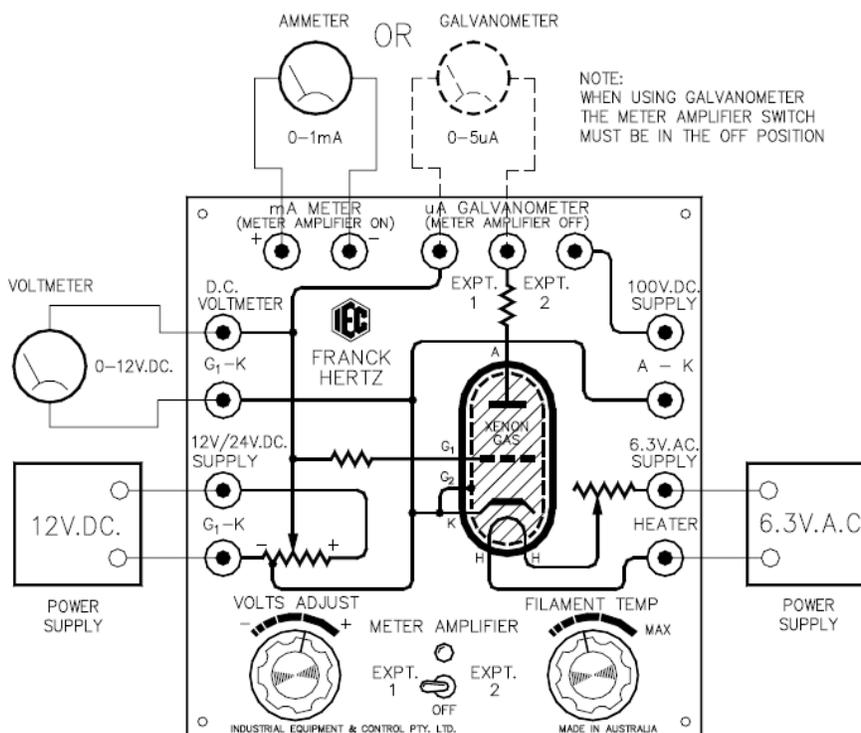


Figura 3) Diagrama esquemático da montagem para o experimento 1.

### Operação:

- Ponha FILAMENT TEMP no máximo. Com isto aplicamos 6,3 V sobre o filamento.
- Começando do mínimo, aumente o potencial acelerador sobre a grade (VOLTS ADJUST) em passos de 0,5V e anote a corrente no anodo (placa) para cada potencial aplicado sobre a grade. Suba a tensão na grade até um máximo de 11V.

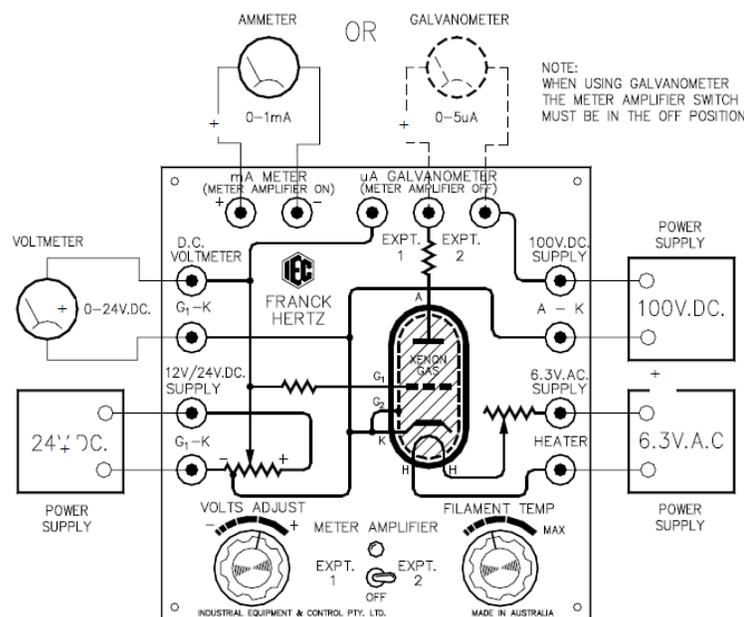
### Roteiro para Análise do experimento 1:

- Faça um gráfico da corrente na placa em função da voltagem na grade.
- Qual a relação entre a voltagem de polarização da grade e a energia adquirida pelos elétrons?
- Analise seu gráfico, detalhando como ocorre a transferência de energia aos átomos de Xe em função da energia cinética dos elétrons incidentes.
- Analise seu gráfico e diga qual é o primeiro potencial de excitação para o Xe.

- Porque a curva obtida em seu gráfico não tem uma queda abrupta quando o valor da voltagem medida é igual ao valor da energia de excitação do Xe? Lembre que as energias no átomo são quantizadas portanto é esperado um início abrupto para esta absorção de energia.
- Ao retornar ao estado fundamental, qual será o comprimento de onda da radiação emitida?
- A que parte do espectro eletromagnético esta radiação emitida pertence? Você acha que conseguiríamos detectá-la neste experimento?

## EXPERIMENTO 2:

- Ponha os controles rotatórios VOLTS ADJUST e FILAMENT TEMP no mínimo.
- Conecte os terminais conforme o esquema abaixo. O soquete indicado 100V DC SUPPLY é polarizado negativamente com -100V. Esta é a voltagem imposta ao anodo. Peça ajuda ao professor para ajustar esta voltagem. A chave seletora deve estar na posição EXPT. 2.
- Para polarizar a grade use a saída que vai até 50 V na fonte de tensão mas use o controle na própria fonte e aplique 24V. Para ter certeza desse valor, use o voltímetro e meça a tensão de saída da fonte de tensão. **Tenha certeza que os ajustes rotatórios mencionados anteriormente estejam no mínimo!**

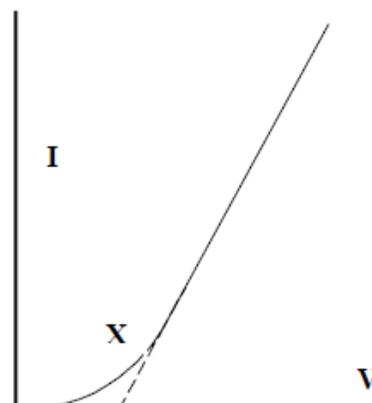


### Operação:

- Aplique **15 volts** sobre a grade usando o controle VOLTS ADJUST.
- Leia este item até o fim antes de prosseguir. Aumente **LENTAMENTE** a tensão sobre o filamento (FILAMENT TEMP) até obter um máximo na leitura da corrente na placa.
- IMPORTANTE: A variação de temperatura do catodo tem uma resposta lenta, então para cada modificação na tensão sobre o filamento espere a corrente na placa estabilizar (isto pode demorar até cerca de 1 minuto).**
- Deixe o controle FILAMENT TEMP como ajustado no item anterior, e reduza a tensão na grade à zero (VOLTS ADJUST no mínimo).
- Usando passos de 0,2 V, aumente a voltagem sobre a grade até cerca de 20V. Anote o valor da corrente para cada valor do potencial na grade.

### **Roteiro para análise do experimento 2:**

- Faça um gráfico da corrente do anodo em função do potencial na grade.
- Você deve obter uma figura similar à encontrada ao lado. Estenda a região linear do gráfico e encontre o ponto de intersecção da reta com a abscissa. Este ponto indica o potencial onde começa a ionização do Xe. Este valor (em eV) é o potencial de ionização do Xe.



### Referências:

- [1] [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1925/press.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1925/press.html)
- [2] EISBERG, R. M., RESNICK, R., Física Quântica, Editora Campus, 1979.
- [3] SHAMOS, M. H. (org.), Great Experiments in Physics, Dover Publications
- [4] HANNE G.F., What really happens in the Franck-Hertz experiment with mercury?, Am. J. Phys., 56 (8), p.696, 1988.