

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.

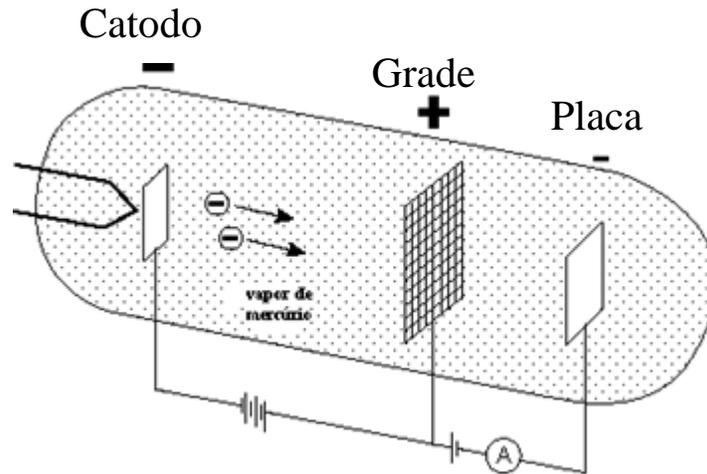


Figura 1: Desenho esquemático de uma válvula triodo usada no experimento de Franck-Hertz.

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 catodo, 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^+ .

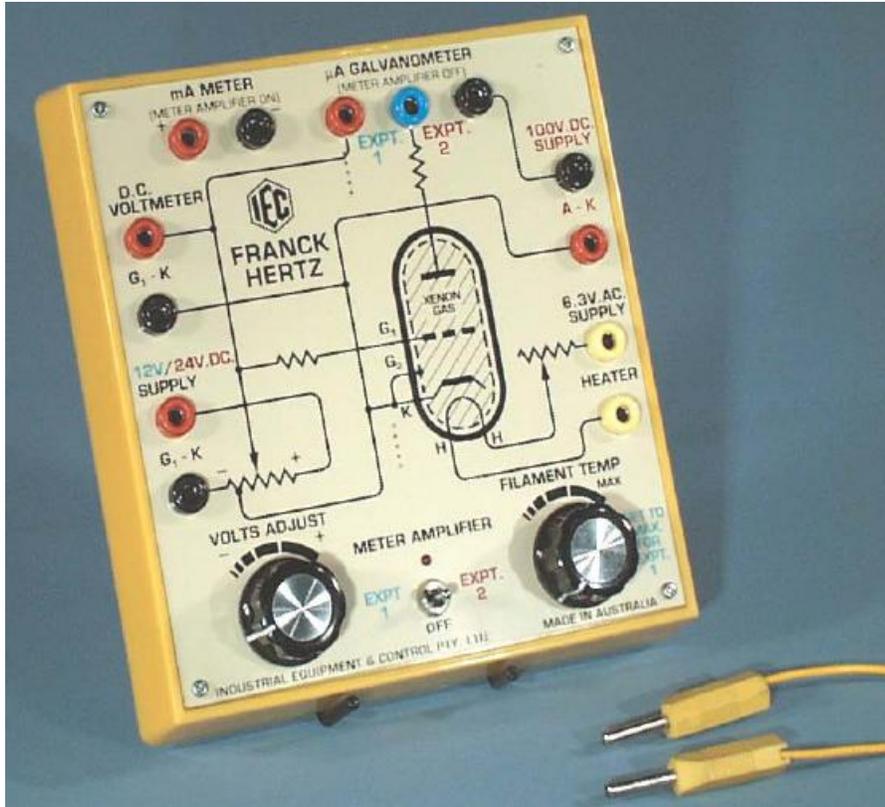


Figura 2: Visão da placa usada para o experimento Franck Hertz – Xenônio

Vale ressaltar que a placa possui a tensão de $-1,0 \text{ eV}$ para evitar que elétrons de baixa energia (elétrons térmicos) cheguem até a grade. Sendo assim, para determinar o primeiro potencial de excitação do xenônio deve-se somar $+1 \text{ eV}$ ao valor experimental.

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 ($\sim -2 \text{ V}$) e vai até valores positivos em relação ao catodo. No exp. 1 utilizaremos até $+12 \text{ V}$ e no exp. 2 até $+24 \text{ V}$.

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- PRIMEIRO POTENCIAL DE EXITACÃO DO Xe:

Montagem:

Conecte os terminais conforme o diagrama abaixo:

1. Coloque a chave seletora na posição EXPT. 1.
2. Você irá usar um amperímetro (AMMETER) ao invés de um galvanômetro.

3. Para polarizar a grade use a saída de 12 V DC. na fonte de tensão. Utilize a fonte de tensão PHYWE 377V , mesma utilizado no experimento de Milikan.
4. Aplique na fonte de tensão 6,3V AC. para aquecer o filamento.
5. Utilize um voltímetro para controlar a diferença de potencial que você está aplicando.

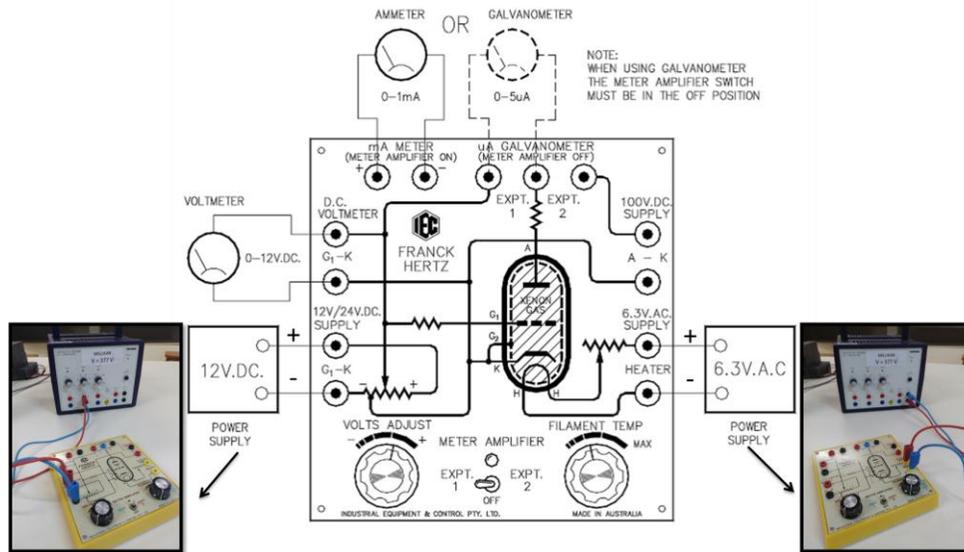


Figura 3: Diagrama esquemático da montagem para o experimento 1.

Operação:

1. Vá aumentando o FILAMENT TEMP lentamente até chegar ao máximo. Com isto aplicamos 6,3 V sobre o filamento.
2. Começando do mínimo, aumente o potencial acelerador sobre a grade (VOLTS ADJUST) em passos de 0,5V, sempre espere estabilizar a voltagem, e anote a corrente no anodo (placa) para cada potencial aplicado sobre a grade. Suba a tensão na grade até um máximo de 11V.

Análise do experimento 1:

1. Faça um gráfico da corrente na placa em função da voltagem na grade.
2. Qual a relação entre a voltagem de polarização da grade e a energia adquirida pelos elétrons?
3. Analise seu gráfico, detalhando como ocorre a transferência de energia aos átomos de Xe em função da energia cinética dos elétrons incidentes.
4. Analise seu gráfico e diga qual é o primeiro potencial de excitação para o Xe. Não esqueça de considerar o valor de tensão inicial da válvula.
5. 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.

6. Ao retornar ao estado fundamental, qual será o comprimento de onda da radiação emitida?
7. A que parte do espectro eletromagnético esta radiação emitida pertence? Você acha que conseguiríamos detectá-la neste experimento?

EXPERIMENTO 2 – POTENCIAL DE IONIZAÇÃO DO Xe:

Montagem:

1. A chave seletora deve estar na **posição EXPT.** 2. Ponha os controles rotatórios **VOLTS ADJUST e FILAMENT TEMP no mínimo**
1. Fazendo uso da saída de 50 V da fonte, **aplique 24 V na entrada 12/24 V DC SUPPLY.** Fique atento: **esta é a polarização da grade (tenha certeza da polaridade).** Para ter certeza desse valor, use o voltímetro e meça a tensão de saída da fonte de tensão. Conecte um voltímetro em 0-24 V DC para controlar a diferença de potencial que você está aplicando.
2. **NÃO** use o galvanômetro. Ao invés **use um amperímetro (na saída AMMETER).**
- 3.
4. Agora, peça ajuda ao professor: devemos polarizar o anodo (placa) no soquete **100V DC POWER SUPPLY negativamente com (menos) 100V.** Usando a saída de 300 V DC da fonte Phywe: (a) inverta a polaridade de saída, ou seja: ligue a saída + (**positiva**) da fonte **no terra da fonte**, como na figura 4; (b) então conecte esta saída (agora aterrada) no conector vermelho do soquete **100 V DC A – K** ; (c) a saída – (negativa) da fonte é ligada ao pólo preto do mesmo soquete **A – K.** Ver o esquema Fig 5. Se esta não ficou clara para você, veja a Fig 6 (com a válvula rotacionada para maior clareza).

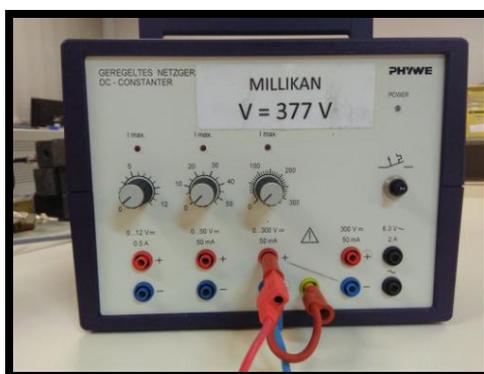


Figura 4: Fotografia dos terminais para polarizar a fonte.

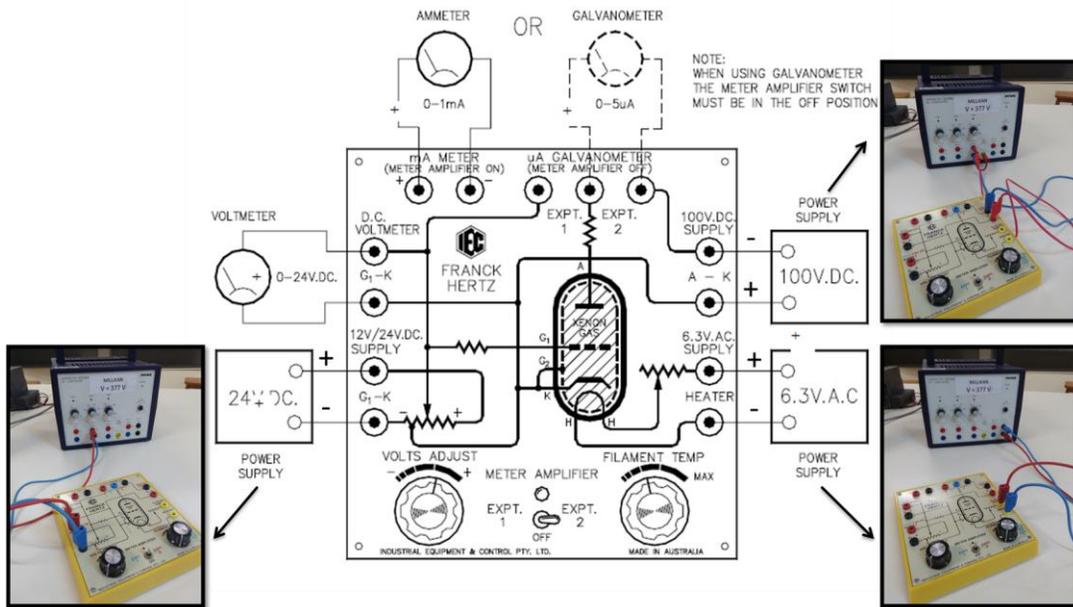


Figura 5: Diagrama esquemático da montagem para o experimento 2.

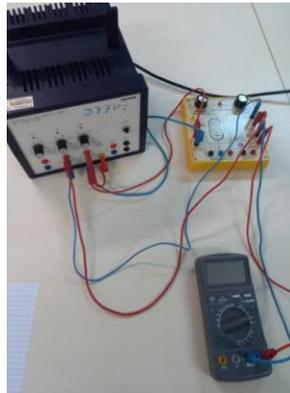


Figura 6: Exper. 2, polarizando a placa com -100 V

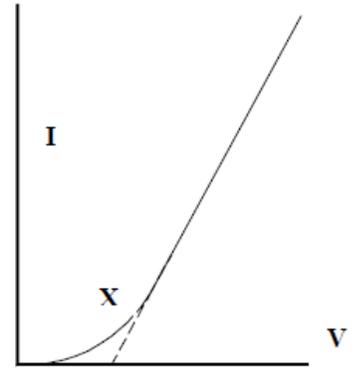
Operação:

1. Aplique **15 volts** sobre a grade usando o controle VOLTS ADJUST.
2. 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).**
3. 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.

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.



Valores tabelados - Physical Reference Data - Nist:

- Primeiro potencial de excitação do xenônio: 8,43 eV.
- Potencial de ionização do xenônio: 12,13 eV

Referências:

- [1] 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.