Universidade Federal do Paraná
Departamento de Física
Laboratório de Física Moderna

# Bloco 01: A EXPERIÊNCIA DE FRANCK - HERTZ

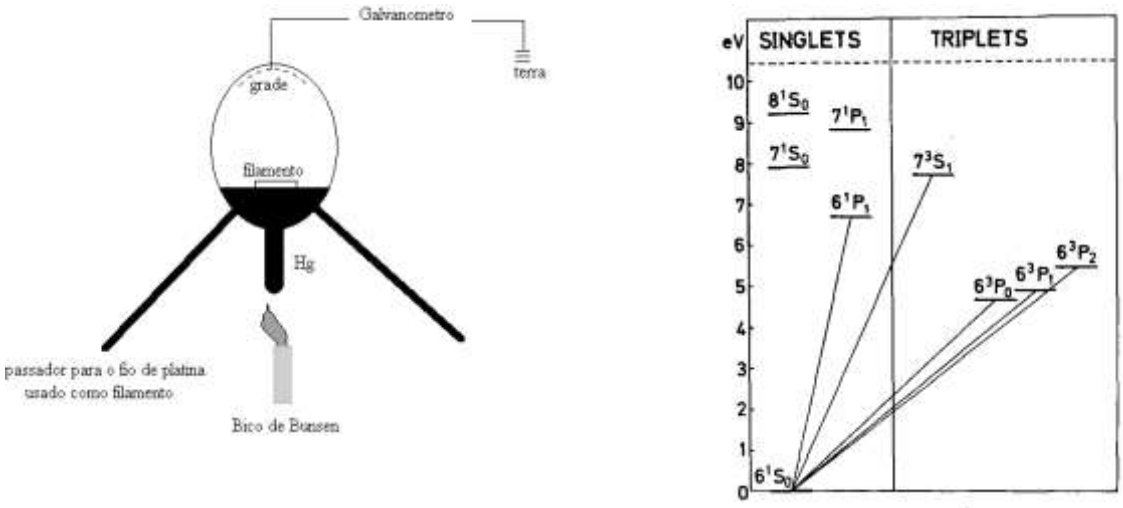
## Introdução

Os elétrons podem ser excitados por fótons ou por colisões. Historicamente, o primeiro fenômeno a ser observado foi o da excitação por fótons. Em 1817, na decomposição da luz solar através do uso de um prisma, Fraunhofer observou que haviam linhas escuras estreitas no espectro contínuo. Este fenômeno só foi explicado em 1860, quando Kirchhoff e Bunsen propuseram que estas raias escuras correspondiam às linhas de absorção dos elementos presentes tanto na atmosfera solar como na atmosfera terrestre. Isto foi possível porque eles observaram que estas raias escuras correspondiam às linhas do espectro de emissão de vários átomos como o H, Ca, Na e Mg.

Elétrons atravessando um vapor ou gás podem excitar seus átomos através de colisões. É esperado que como a diferença de massas é grande, o elétron deve conservar praticamente toda a sua energia cinética. Mas em 1914, J. Franck e G. Hertz realizaram uma série de experiências e não verificaram esta afirmação. O aparato experimental utilizado está descrito na Figura 1(a). Um balão de quartzo contendo mercúrio era aquecido. Em seu interior, um filamento aquecido emitia elétrons que eram colhidos pela grade após colidir com o mercúrio em estado de vapor. Um galvanômetro conectado à grade media a corrente. Eles observaram que os elétrons, ao atravessarem o vapor de mercúrio sob a ação do campo elétrico, provocavam a emissão pelo vapor, de uma radiação com comprimento de onda igual a 254 nm quando a energia do elétron era maior que 4,9 eV. Este fenômeno não ocorria quando a energia era menor que 4,9 eV.

Tal fato sugere uma forte relação entre os dois fenômenos, uma vez que os fótons emitidos com um comprimento de onda de 254 nm possuem uma energia de aproximadamente 4,9 eV. Isto ocorre quando os elétrons, ao colidirem com os átomos de mercúrio, provocam excitação dos elétrons do mercúrio de um nível de energia para outro.

A condição para isto ocorrer é que a energia cinética do elétron incidente seja igual à diferença de energia entre os dois níveis excitados do átomo de mercúrio.




(a) (b)

**Figura 1.** (a) Aparato experimental originalmente utilizado por Franck e Hertz. (b) Esquema simplificado dos níveis de energia do átomo de mercúrio[1].

Uma técnica alternativa à espectroscopia para verificar as colisões inelásticas dos elétrons com o vapor é a análise da corrente que atravessa o gás. O vapor de mercúrio é formado através do aquecimento deste em um compartimento fechado. Um filamento aquecido emite os elétrons, os quais são acelerados por um potencial acelerador. Antes de atingirem a placa coletora, estes devem vencer um potencial de retardo criado por uma grade posicionada antes da placa coletora.

É observado que existe um declínio acentuado na corrente da placa coletora quando os elétrons atingem a energia equivalente à primeira excitação eletrônica. Isto ocorre porque os elétrons perdem 4,9 eV de sua energia cinética através da colisão inelástica com os átomos do vapor, mas ainda precisam vencer o pequeno potencial de retardo entre a grade e a placa coletora antes de atingirem o ânodo. Se o potencial acelerador continuar crescendo, haverá uma segunda queda na corrente quando o potencial acelerador for igual ao dobro do primeiro potencial de excitação. Tal fato é observado porque os elétrons excitam um átomo a meio caminho entre as grades e são acelerados com energia suficiente de modo a excitar novamente outro átomo um pouco antes de atingir a grade. Tal arranjo experimental permite assim medir sucessivamente os

[1] G. F. Hanne, Am. J. Phys. **56**, 696 (1988)

múltiplos do primeiro potencial de excitação correspondentes às sucessivas quedas na corrente.

A Figura 1 (b) mostra um esquema simplificado dos níveis de energia do átomo de mercúrio. Os quatro primeiros níveis acima do fundamental estão em 4,64 eV, 4,86 eV, 5,43 eV e 6,67 eV. No entanto, observa-se apenas a excitação do estado 6 $^3P_1$ em 4,86 eV[2]. Isto ocorre pois o átomo retorna ao seu estado fundamental 6 $^1S_0$ pela emissão de um fóton (processo que leva da ordem de $10^{-8}$ s), que possui momento angular total intrínseco **J** = **L** + **S** = **S** = 1 que precisa ser conservado. Desta forma o átomo precisa alterar seu momento angular total $\Delta$**J** = ±1, de modo que o fóton emitido deve ser relativo aos níveis 6 $^3P_1$ e 6 $^1P_1$. O estado 6 $^1P_1$não é observado pois o estado 6 $^3P_1$ é eficiente na captura de energia do feixe eletrônico em 4,86 eV que os elétrons não conseguem atingir a energia necessária para excitarem o nível em 6,67 eV.

Um fator importante que influencia a medida da corrente é a densidade do vapor. No caso do mercúrio, este é controlado pela temperatura. Quando a densidade é alta, a corrente é baixa, mas as quedas são acentuadas. Quando a densidade do vapor é baixa, a corrente é alta, mas as respectivas quedas são menos abruptas. Outros elementos usados que não o mercúrio são o argônio, o néon e o hélio. A desvantagem de usar mercúrio é a de que não se vê a luz ultravioleta emitida pelo gás excitado.

## Procedimento

1) Faça as ligações da fonte aos diversos elementos da válvula que contém mercúrio. As conexões são auto-explicativas no design gráfico do aparelho. H e K são os terminais do filamento; A é o potencial de aceleração chamado de $U_B$; M é a ligação ao amplificador. Não esqueça o terra.

2) Ligue o "superosciloscópio" no circuito da seguinte forma: canal X na voltagem de aceleração $U_B/10$ (X-out com 1X); canal Y na saída do amplificador FH signal (Y-out com 2Y). Se você nunca viu um osciloscópio na vida, chame o mestre e peça uma explicação a ele. Mesmo se você já viu, você vai necessitar da explicação! Chame de qualquer modo.

3) Antes de ligar qualquer chave liga-desliga chame o mestre. Tem gente que conecta o cabo em qualquer furo que encontra pela fonte!

4) Ligue o forno que aquece a válvula e vaporiza o mercúrio. Aumente a temperatura até uns 170 $^oC$. Use o termômetro portátil para controlar a temperatura.

---

[2] Notação de espectroscopia n $^{2S+1}L_J$; n = número quântico principal designando a camada; **S** = momento de spin; **L** = momento angular – os valores de **L** = 0 e 1 são denotados por S e P; **J** = momento angular total)

5) Ligue a fonte. Suba o potencial do filamento até que ele fique levemente rubro, passando a emitir elétrons. Atenção: indicador do botão um pouco antes da seta bege.

6) Coloque a chave “*Man/Ramp”* em “*Ramp”*.

7) Aumente o potencial da placa.

8) Observe a figura no osciloscópio. Para isto ligue o osciloscópio e aperte a tecla "*Main/Delayed*". Sob a figura aparece "*Horizontal Mode*"; aperte XY. O osciloscópio passa a registrar canal X($U_B$/10) contra Y(*FH signal*). Ajuste os botões "*Volts/Div*" até obter uma imagem adequada.

9) Aperte "*Cursors*". Sob a tela aparece "*Active Cursors*"; $X_1$ e $X_2$ são os dois cursores relativos ao eixo X. Estes dois cursores permitem a medida precisa entre voltagens. Para movimentá-los é preciso apertar, por exemplo $X_1$, e deslocá-lo com o botão cinza que fica abaixo à direita do botão "*Cursors*".

10) Meça a diferença de voltagem entre picos ou entre vales do eixo Y. Anote os valores e faça uma média entre os vários valores medidos. Lembre-se que você mede $U_B$/10!

11) Não esqueça o relatório Vapt-Vupt!

12) Repita os procedimentos acima, com exceção do item 4, para o tubo de Ne.

**UFPR- Departamento de Física**

**Laboratório de Física Moderna**

**Relatório Vapt-Vupt**

## Bloco 01: A EXPERIÊNCIA DE FRANCK - HERTZ

1) Faça um esquema das ligações elétricas que você fez.

| Mercúrio | Neônio |
| --- | --- |
| | |

2) Faça um desenho da melhor figura do efeito Franck-Hertz que você pôde produzir na tela. Identifique os eixos e os picos na figura.

| Mercúrio | Neônio |
| --- | --- |
| | |

3) Meça a diferença, em volts, entre picos e entre vales. Complete a tabela abaixo.

| **Mercúrio** | | **Neônio** | |
|---|---|---|---|
| **Diferença entre picos ou entre vales ($U_B$/10) ( )** | **$\Delta U_B$ ( )** | **Diferença entre picos ou entre vales ($U_B$/10) ( )** | **$\Delta U_B$ ( )** |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

4) Calcule as energias médias de excitação dos primeiros níveis do mercúrio e do neônio. Compare com os valores oficiais.