

Trabalho 8B**Experiência de Franck-Hertz e determinação da energia de ionização do xénon****1. OBJETIVOS DO TRABALHO**

- Análise do funcionamento de uma válvula preenchida com gás xénon a baixa pressão.
- Determinação experimental das energias de excitação e ionização do átomo de xénon.

2. EXECUÇÃO DO TRABALHO**2.1. Montagem**

Para a execução deste trabalho dispõe de: montagem integrada, contendo a válvula com gás de xénon e circuitos elétricos de interligação, fontes de tensão com saídas $6.3V_{AC}$, $12V_{DC}$, $24V_{DC}$ e $100V_{DC}$, e três multímetros para medição de correntes e de tensões elétricas.

2.2. Procedimento experimental - primeira energia de excitação de átomos de xénon

1. Efetuar as ligações elétricas indicadas na figura 1.

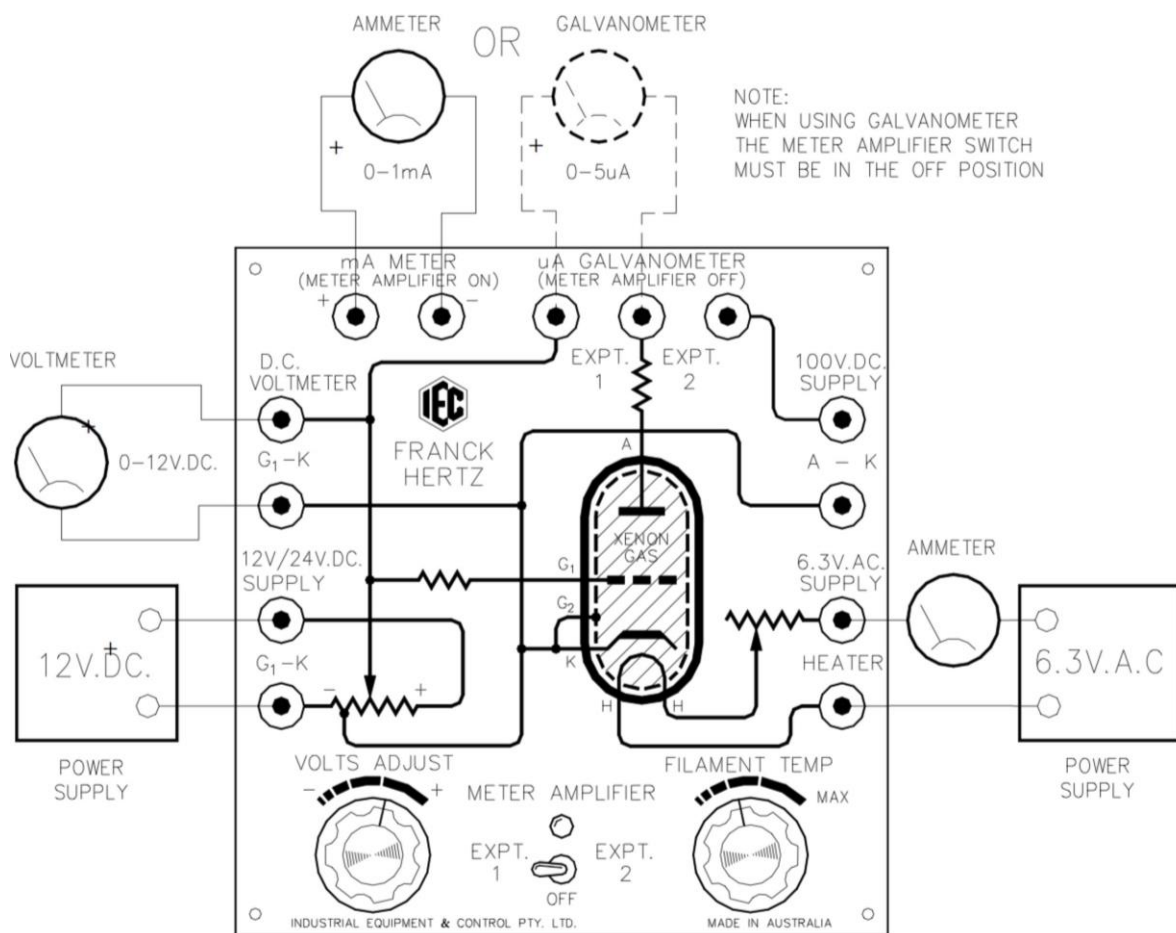


Figura 1 – Montagem para o estudo da excitação de átomos de Xénon.

2. Selecionar a experiência 1 (EXPT. 1) no interruptor existente no painel da montagem, com a opção de utilizar o amplificador incorporado para a determinação da corrente elétrica que atravessa a válvula.

3. Regular a corrente de aquecimento para o valor máximo.
4. Variando o potencial acelerador, registar a corrente que atravessa a válvula.
5. Fazer um estudo gráfico dos resultados obtidos e determinar a primeira energia de excitação do xénon. A análise deve ser feita determinando o mínimo de $I(V_{\text{acel}})$ num intervalo em torno da energia de excitação prevista, usando um ajuste polinomial de segundo grau. Uma vez obtida a expressão do ajuste, a derivação desta permite obter o valor do mínimo da função.

2.3. Procedimento experimental - ionização de átomos de xénon

1. Efetuar as ligações elétricas indicadas na figura 2, escolhendo a opção com amplificação integrada (à esquerda no topo do esquema do circuito).

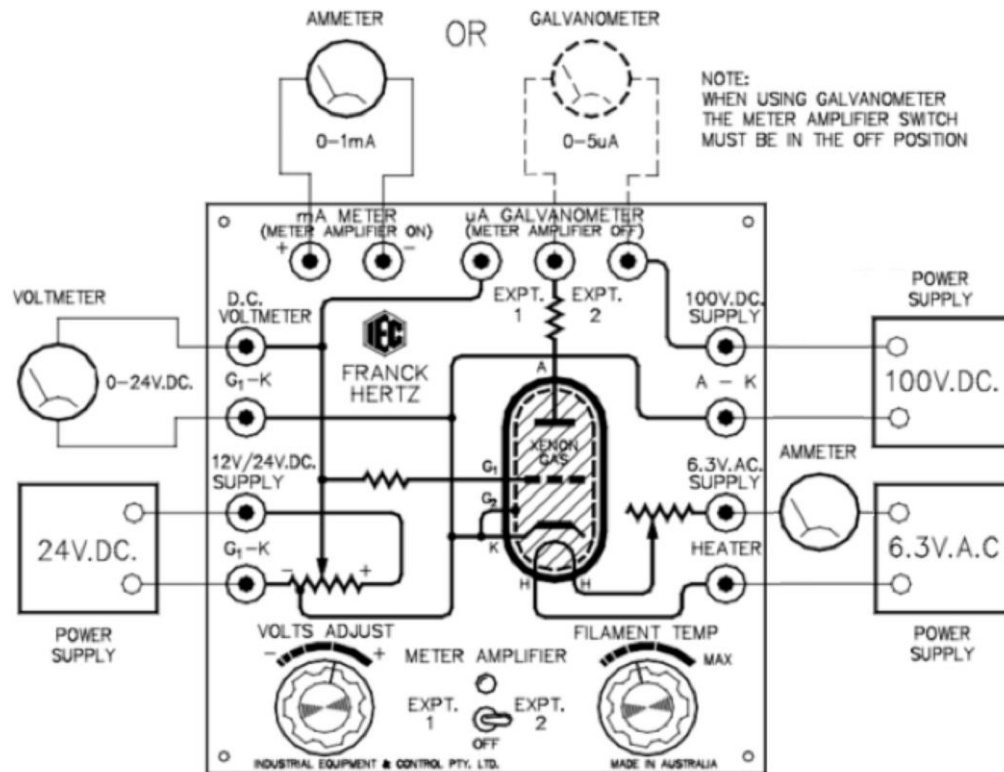


Figura 2 – Montagem para o estudo da ionização de átomos de Xénon.

2. Selecionar a experiência 2 (EXPT. 2).
3. Regular a corrente de aquecimento para aproximadamente 0,46 A.
4. Para vários valores de potencial acelerador, registrar a corrente que atravessa a válvula.
5. Fazer um estudo gráfico dos resultados obtidos. Determinar o potencial de aceleração limiar e a primeira energia de ionização do xénon.

2.4. QUESTÕES

1. O potencial de aceleração mínimo observado na zona da grelha na figura 2 corresponde à primeira energia de excitação do gás de xénon. Qual a velocidade dos eletrões na posição da grelha?
2. Se a distância entre cátodo e ânodo for de 2 mm, qual a aceleração dos eletrões quando chocam inelasticamente com os átomos de xénon na zona da grelha? Compare este valor com o valor da aceleração da gravidade e comente o resultado.
3. Quando os átomos excitados regressam ao seu estado fundamental é emitida radiação eletromagnética. Determine a

frequência da radiação, f , e a localização desta radiação no espectro eletromagnético. A radiação é visível? Caso não seja, como poderia detetá-la? ($E = hf$, onde h é a constante de Planck)

4. Discuta a forma do mínimo da curva da figura 3 em termos do número de elétrons com energia disponível para colidirem inelasticamente com os átomos de xénon e da eventualidade de os elétrons terem diferentes velocidades.
5. Determine a energia dos elétrons de modo a ionizarem os átomos de Xénon para a primeira energia de ionização. Qual a velocidade dos elétrons, sabendo que a sua massa é $9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$?
6. Determine a frequência da radiação eletromagnética e a sua localização no espectro eletromagnético que teria a energia suficiente para produzir o mesmo estado de ionização dos átomos de Xénon?

2. INTRODUÇÃO

O elemento principal da montagem consiste numa válvula, preenchida com o gás monoatômico xénon, dentro da qual existe um filamento e um conjunto de grelhas e elétrodos, tal como ilustrado na figura 3.

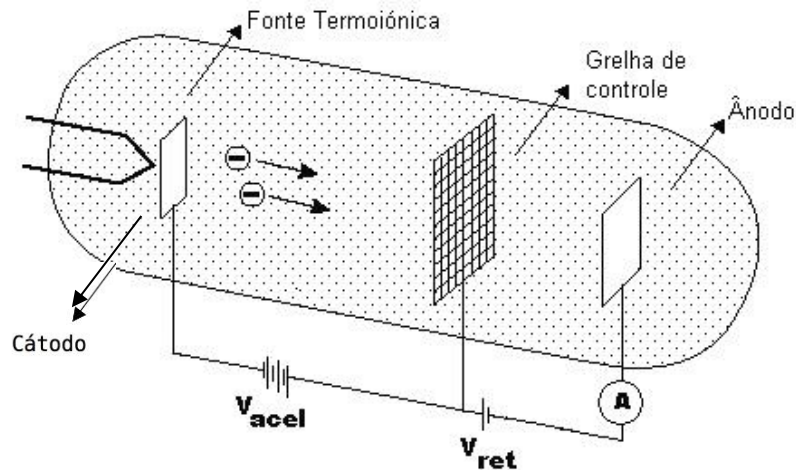


Figura 3. Válvula preenchida com gás xénon a baixa pressão. A mesma contém: um filamento (à esquerda), o cátodo, a grelha de controlo e o ânodo. Estão também indicadas as tensões de aceleração (V_{acel}) e de retardação (V_{ret}) aplicadas aos elétrons emitidos no cátodo.

Um filamento à base de tungsténio (semelhante aos filamentos das lâmpadas incandescentes) aquece uma placa feita de um material adequado, designado por cátodo. O cátodo aquecido é uma fonte de elétrons, os quais são produzidos a um ritmo que depende da temperatura de aquecimento. Os elétrons libertados no cátodo são posteriormente acelerados pela diferença de potencial V_{acel} existente entre o cátodo (C) e a grelha de controlo (GC). Após a grelha de controlo existe ainda um elétrodo (o ânodo) mantido a um potencial inferior relativamente ao potencial de GC, V_{ret} , que retardará os elétrons que se movimentem nesta zona da válvula. Para que os elétrons consigam atingir o ânodo, necessitarão de uma energia cinética superior à energia do campo elétrico entre GC e o ânodo. O efeito é o de um filtro de elétrons para o ânodo, pelo que a corrente elétrica à saída da válvula dependerá de V_{ret} , V_{acel} e da capacidade de gerar elétrons no cátodo.

Na propagação do feixe de elétrons ao longo da válvula poderão ocorrer colisões com os átomos de xénon e eventualmente trocas de energia. Utilizando potenciais elétricos de aceleração adequados, os elétrons serão acelerados para energias da ordem das transições eletrónicas entre níveis energéticos do xénon, dando origem a processos de (ver Fig. 4):

- **Excitação:** um elétron salta do seu nível de energia para outro mais energético.
- **Ionização:** um elétron liberta-se do átomo.

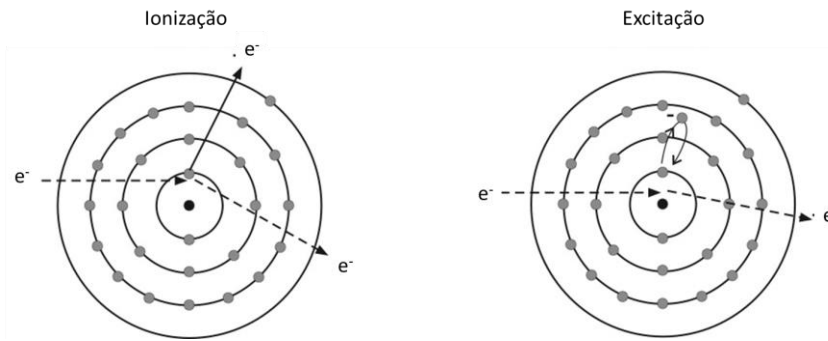


Figura 4. Esquema representativo dos processos de Ionização e excitação.

2. Estudo da energia de excitação do átomo de xénon

A experiência de Franck-Hertz foi a primeira medida elétrica a evidenciar de forma clara a natureza quântica da matéria, sendo uma das demonstrações clássicas da quantificação dos níveis de energia atômicos. A aplicação da espectroscopia ótica ao estudo da matéria desde cedo mostrou que os espectros de excitação da matéria são caracterizados por linhas discretas, correspondentes a diferentes comprimentos de onda da radiação. O modelo atômico de Bohr já previa que uma transição entre diferentes níveis de energia está associada a uma quantidade de energia muito bem definida. Franck e Hertz propuseram uma experiência que permite verificar que:

- É possível excitar átomos por bombardeamento com elétrons de baixa energia.
- A energia transferida dos elétrons para os átomos tem valores discretos.
- Os valores obtidos para a energia estão de acordo com as riscas obtidas por espectroscopia.

Ao aplicar-se a diferença de potencial V_{acel} , os elétrons libertados no cátodo são acelerados em direção à grelha de controlo. A energia cinética dos elétrons na zona da grelha terá o valor $E_{\text{cin}} = eV_{\text{acel}}$, onde e é a carga do elétron. Enquanto E_{cin} for inferior à diferença de energias $\Delta E = E_1 - E_0$, entre o primeiro nível de excitação E_1 e o nível fundamental E_0 , os elétrons só poderão perder energia, ao longo da sua propagação, através de colisões elásticas com os elétrons do gás. Sendo o gás rarefeito, a perda de energia não é considerável, detetando-se uma corrente através do ânodo (ramo inicial ascendente nas curvas experimentais representadas na figura 5).

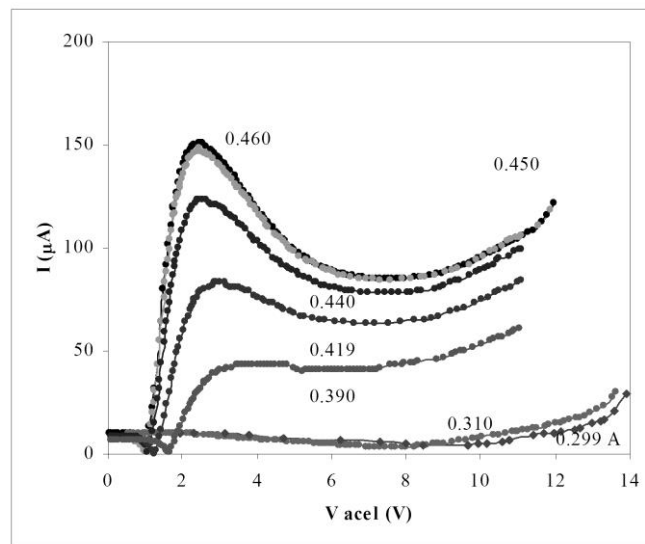


Figura 5. Corrente elétrica que atravessa a válvula em como função do potencial de aceleração. As diversas curvas foram obtidas para diferentes valores fixos da corrente de aquecimento (valores em amperes).

No entanto, quando $E_{\text{cin}} = \Delta E$, as colisões tornam-se inelásticas, havendo transferência de energia dos elétrons do feixe para os elétrons do xénon. Estes elétrons deixam de contribuir para a corrente no ânodo que, conseqüentemente, diminuirá, observando-se o ramo descendente nas curvas da figura 5. Isto é, o gás de xénon deixou de ser transparente ao fluxo de elétrons que o atravessa. O mínimo observado corresponde à primeira energia de excitação do xénon (do estado $1s^2 \dots 5p^6$ para o estado $1s^2 \dots 5p^5 6s^1$) cujo valor é $\sim 8,3$ eV. Continuando a aumentar V_{acel} , os elétrons que perderam energia nos choques inelásticos voltam a ser acelerados até que possam ocasionar novas excitações dos átomos de xénon. Desse modo poderão observar-se novos picos (nota: na montagem utilizada neste trabalho só é possível observar um pico!). A sequência de aceleração dos elétrons e excitação atômica poderá continuar mediante o aumento de V_{acel} até que ocorra ruptura do gás (grau de ionização a partir do qual o gás deixa de ser um isolante elétrico).

3. Estudo da ionização de átomos de xénon

Aumentando suficientemente o valor do potencial de aceleração, a energia cinética dos elétrons do feixe acabará por ser igual ou superior à energia de ionização do átomo de xénon. Neste caso, ocorre o fenômeno de ionização, em que um dos elétrons de valência é libertado da influência do núcleo, pelo choque inelástico com um dos elétrons do feixe.

O potencial retardador V_{ret} será nesta montagem suficientemente elevado por forma a que os elétrons do feixe sejam retardados e ao mesmo tempo sejam acelerados os átomos ionizados resultantes, que assim contribuirão para a corrente na válvula.

A figura 6 mostra um comportamento experimental da corrente iônica em função do potencial de aceleração. A corrente I é praticamente nula para valores baixos do potencial. A partir do momento que os elétrons do feixe têm aproximadamente a energia correspondente ao primeiro nível de ionização, a corrente começará a aumentar assintoticamente.

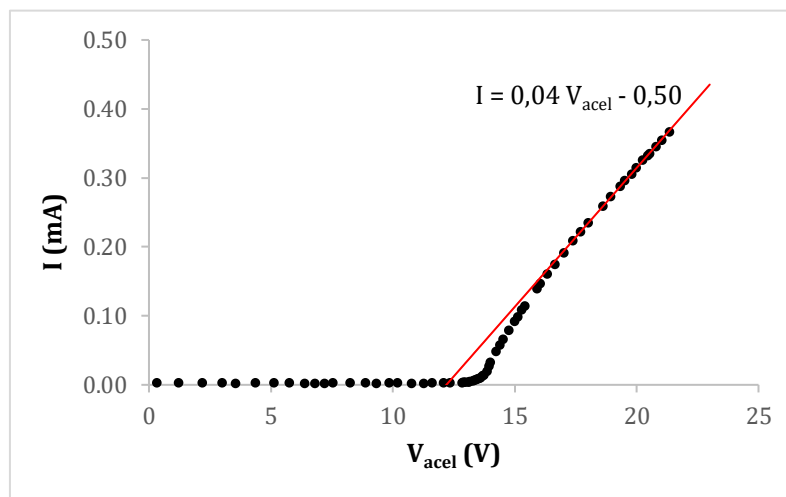


Figura 6. Evolução da corrente para valores crescentes do potencial de aceleração e com um potencial retardador elevado.

A energia de ionização obtém-se determinando o potencial de aceleração para o valor nulo da corrente de ionização (potencial de aceleração limiar) utilizando a expressão:

$$E_i = |e \cdot V_{\text{acel. limiar}}|.$$

Considerando a reta de ajuste linear apresentada na figura 6, obtém-se para a primeira energia de ionização do xénon um valor de aproximadamente 12 eV.