

## Experiência de Franck-Hertz (T8B)

Nuno Pereira  
PL6 64  
21/05/2022

### Preparação ~

- Para preparar esta atividade, foi feito um estudo aprofundado do protocolo 8B, assim como do vídeo fornecido
- Preparou-se ainda o ficheiro excel desta atividade

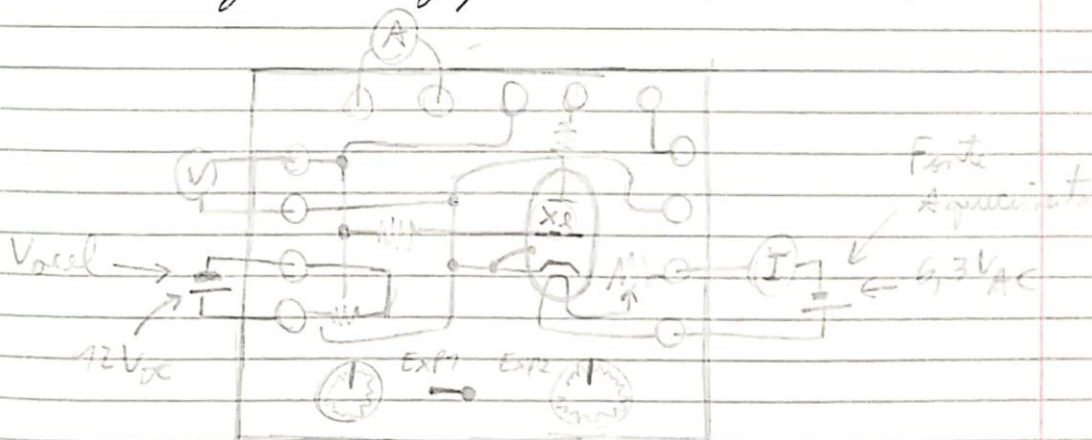
### Objetivos ~

- 1- Analisar o funcionamento de uma válvula preenchida com gás xénon a baixa pressão
- 2- Determinação experimental das energias de excitação e ionização do átomo de xénon

### Procedimento ~

- 1- Verificar que se tem todo o material necessário disponível: montagem integrada (com válvula com xénon e circuitos eletrónicos), fontes de tensão com saídas 6,3VAC, 12VDC, 24VDC e 100VDC, e 3 multímetros.

- 2- Primeira ~~parte~~ energia de excitação do átomo de xénon  
2.1- Fazer as ligações indicadas abaixo:



- 2.2- Selecionar a Experiência 1 no interruptor no painel, com a opção de utilizar o amplificador incorporado para a determinação da corrente elétrica que passa na válvula

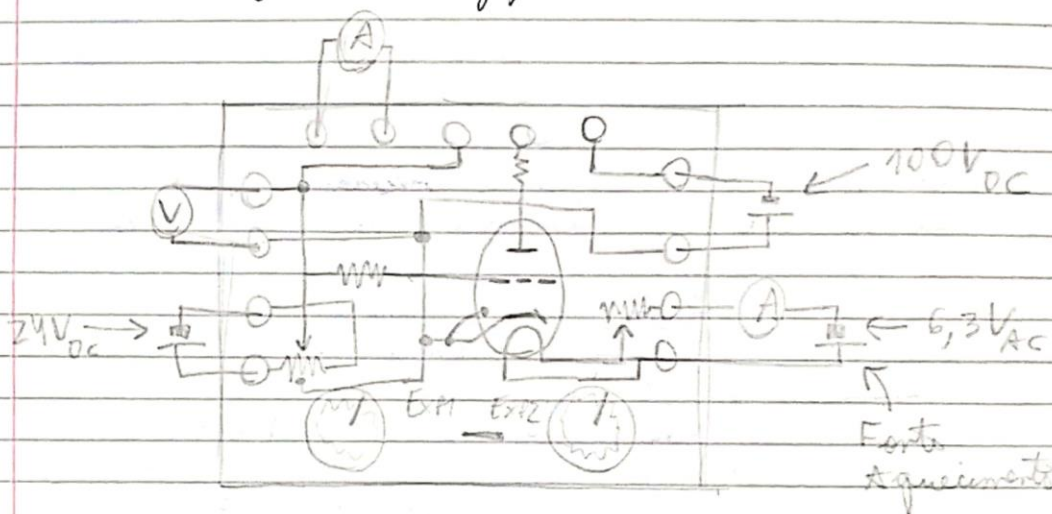
- 2.3- Regular a corrente de aquecimento para o valor máximo

- 2.4- Variar o potencial acelerador e registar a corrente que atravessa a válvula

2.5 - Fazer estudo gráfico dos dados obtidos e determinar a primeira energia de ionização do cénor. Esta análise deverá ser feita através da determinação do mínimo de  $I(V_{ac})$  num intervalo em torno da energia de excitação prevista.

### 3- Ionización de átomos de Xenón

3.1- Efetuar os ligçes indicados abaixo:



### 3.2- Selecionar a Experiência 2

3.3- regular a corrente de aquecimento para aproximadamente  $0,46A$

3.4- Para vários valores de potência acelerador, registre a corrente que atravessa a válvula

3.5 - Fazer estudo gráfico dos resultados. Determinar o potencial de aceleração linear e a primeira energia de ionização do xénon.

## Registro dos Instrumentos Utilizados

- Multímetro Koise My 64 (Amperímetro Aquecimento)
- Fonte de tensão Lexbold 521 65 (Fonte de aquecimento)
- Multímetro Keithley 177 (Amperímetro)
- Multímetro HP 3466A (Vôltímetro)
- Montagem da experiência de Franck-Hertz

23/05  
mer.  
Lb PC

23/05  
guel  
PC



# Análise de Dados — Experiência 1 —

26/05/2022

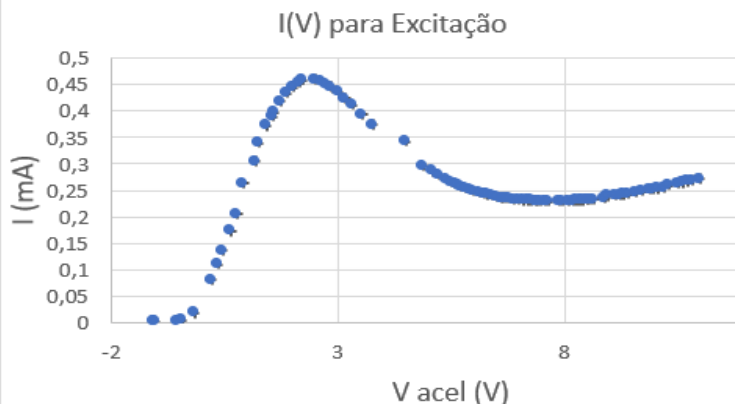


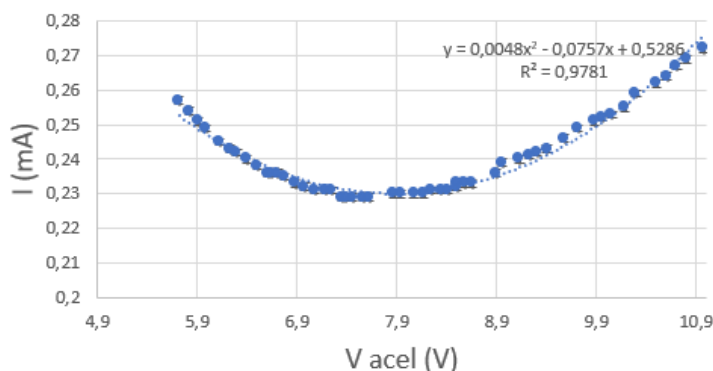
Gráfico 1- I(V) para a Experiência 1

- Primeiro, deve-se notar que a atividade experimental foi gravada em vídeo. Assim, utilizou-se o vídeo para obter mais pontos.

- ~~Os dados foram~~ Os dados foram registrados em tabela. No entanto, esta tem 90 linhas, pelo que não achei oportuno colocá-la no logbook.

- O traçado deste gráfico tem o formato esperado, com um máximo, seguido de um mínimo. Ora, este mínimo corresponde à 1ª energia de excitação do Xênon. Assim, para determinar este mínimo, selecionamos os últimos 52 pontos registrados, de forma a obter o traçado polinomial dos pontos mais próximos do mínimo. Deste modo foi obtido o gráfico 2:

Ampliação de I(V)



Matriz de ajuste			
Coefficientes	0,00480	-0,076	0,529
Incertezas	0,00012	0,002	0,008
r^2	0,978	0,001812	#N/A

Gráfico 2 - Ampliação da zona polinomial do gráfico e repetição regressão

- Assim, tem-se que este tempo pode ser descrito por  

$$y = 0,0048 x^2 - 0,0757 x + 0,5286$$

pois que a sua derivada é dada por:

$$y = 0,0096 x - 0,0757$$

- Desta forma, a ~~abscissa~~ abscissa do mínimo é dada por

$$0 = 0,0096 x - 0,0757 \Leftrightarrow x = \frac{0,0757}{0,0096} = 7,88 \text{ (V)}$$

~~Assim, o valor obtido para a energia de excitação do átomo de hidrógeno é de 7,88 eV.~~

- Faz-se ainda a propagação de incerteza para obter  $u(V_{\min})$ , sendo ~~a~~  $a$  o coeficiente de  $x^2$  e  $b$  o coeficiente de  $x$  na regressão polinomial feita, tem-se que  

$$V_{\min} = \frac{-b}{2a}$$
 Assim:

$$\begin{aligned} u(V_{\min}) &= \sqrt{\left(\frac{\partial V_{\min}}{\partial a} u(a)\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{\min}}{\partial b} u(b)\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(+\left(\frac{2b}{(2a)^2}\right) u(a)\right)^2 + \left(-\left(\frac{2a}{(2a)^2}\right) u(b)\right)^2} \\ &= 0,28 \text{ (V)} \end{aligned}$$

- Assim, o valor obtido para a energia de ~~excitação~~ excitação do átomo foi de  

$$(7,88 \pm 0,28) \text{ eV}$$

- Para o valor de referência de 8,30 eV o valor determinado apresenta um erro de 5,02%.

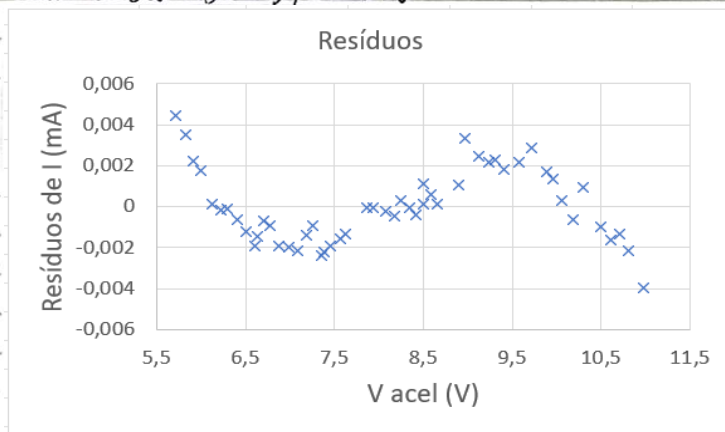


Gráfico 3 - Resíduos do gráfico 2

~~Conclusão~~  
 - Ao analisar os resíduos da regressão polinomial feita, facilmente se pode ver que estes têm uma tendência oscilatória. Ora, isto poderá dever-se a erros na execução experimental assim como a outros fatores que não conseguimos identificar.

### — Experiência 2 —

- Mais uma vez, gratamos a atividade, de modo a recolher mais pontos. ~~Nesta parte da atividade~~ Nesta parte da atividade também fizemos o registo em tabela, mas optei por não a colocar neste logbook.

- Conseguimos manter a corrente de aquecimento a  $0,96\text{ A}$  e variámos a voltagem de aceleração entre  $-1,732$  e  $20,9\text{ Volts}$ .

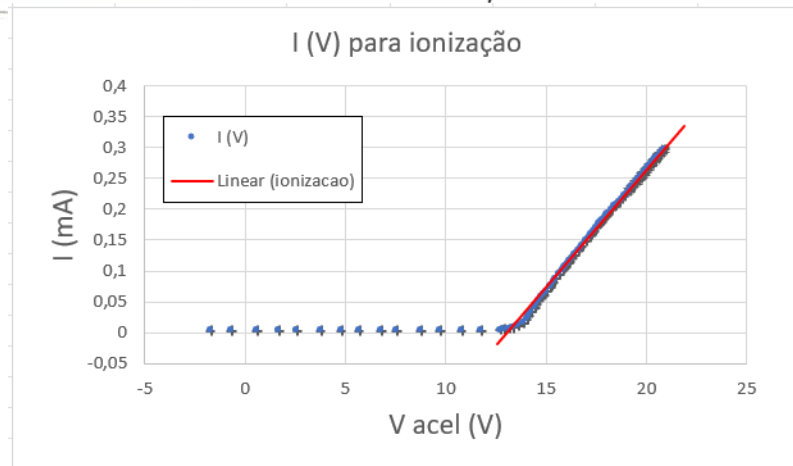


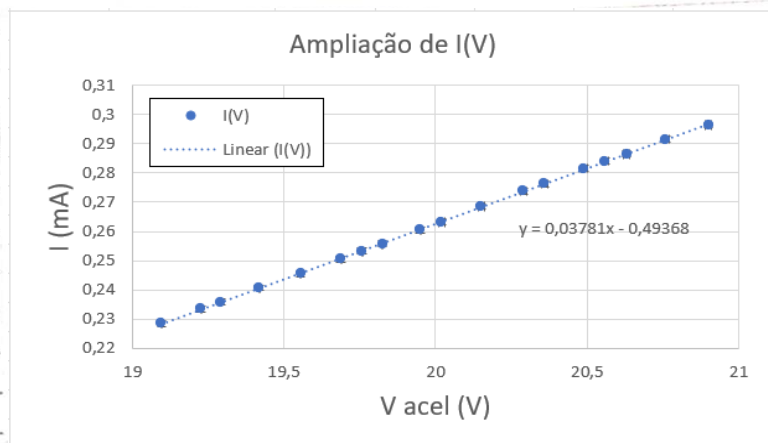
Gráfico 4 -  $I(V)$  da Experiência 2

- No gráfico 4 vemos que o traçado  $I(V)$  desta parte da atividade tem o formato esperado.

- Deste modo, para determinar a energia de ionização do aréne, era preciso selecionar dados na zona de voltagens acima de  $15\text{ V}$  (parte "linear" do traçado), de forma a obter uma ~~regressão~~ regressão linear. Ora, para isso é importante que  $r^2$  ~~esteja próximo de 1~~ esteja próximo de 1 e que os resíduos sejam aleatórios.



- Assim, foi possível obter uma boa regressão linear selecionando os últimos 18 dados (de  $V_{acel} = 19,096V$  a  $V_{acel} = 20,9V$ )



Matriz de Ajuste			
m	0,037814399	-0,49368	b
u(m)	9,20863E-05	0,001842	u(b)
r^2	0,999905124	0,00021	sy

Gráfico 5 - Ampliação na zona linear do gráfico 4 e respetiva respetiva linha

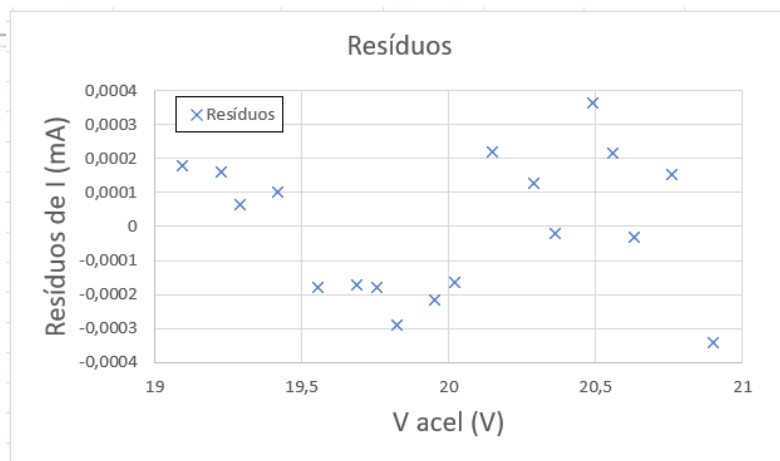


Gráfico 6 - Resíduos do gráfico 5

- Ora, como  $r^2 = 0,999905$  e como os resíduos não claramente aleatórios, podemos concluir que esta regressão está feita corretamente.

- A fonte de tensão usada para a Voltagem de aceleração deveria permitir tensões de 24V. No entanto, a tensão que não passava os 20,9V, por condições limitadoras dos instrumentos de laboratório

- Sabemos que a energia de ionização será o Zero da reta obtida na regressão linear no gráfico —, logo:

$$0 = 0,03787x - 0,49368$$

$$\Leftrightarrow x = \frac{0,49368}{0,03787} = 13,05 \text{ eV}$$

- Por fim, tendo que  $E_i$  (Energia ionização) é dada por  $E_i = -\frac{b}{m}$  (sendo  $b$  a ordenada na origem e  $m$  o declive da regressão linear), tem-se que:

$$\begin{aligned} u(E_i) &= \sqrt{\left(\frac{\partial E_i}{\partial m} u(m)\right)^2 + \left(\frac{\partial E_i}{\partial b} u(b)\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{b}{m^2} \times u(m)\right)^2 + \left(-\frac{1}{m} \times u(b)\right)^2} \\ &= 0,058 \text{ (eV)} \end{aligned}$$

- Assim, o valor final obtido para a energia de ionização do xénon é de

$$(13,050 \pm 0,058) \text{ eV}$$

- Ora, para um valor de referência de 12,1299 eV (fonte: [www.nuclear-power.com/xenon-affinity-electronegativity-ionization/](http://www.nuclear-power.com/xenon-affinity-electronegativity-ionization/); consultado em 26/05/2022,

12:25), o valor determinado experimentalmente apresenta um erro de 7,63%.

## Conclusões

- Nesta atividade experimental determinou-se um valor da 1ª energia de excitação do xénon de  $(7,88 \pm 0,28) \text{ eV}$  e da energia de ionização de  $(13,050 \pm 0,058) \text{ eV}$ . Ambos estes valores representam erros abaixo de 10%.

## Questões

$$E_c = \frac{1}{2} m_e v^2 \Leftrightarrow$$

①

$$E_c = e V_{\text{cél}}$$

teórica

$$E_c = (1,6 \cdot 10^{-19}) \times 8,3 \\ = 1,3 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

$$\Leftrightarrow V = \sqrt{\frac{2 E_c}{m_e}}$$

experimental

$$E_c = (1,6 \cdot 10^{-19}) \times 7,88 \\ = 1,26 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

$$V = \sqrt{\frac{2 \times 1,3 \cdot 10^{-18}}{9,11 \cdot 10^{-31}}} \\ = 1,69 \times 10^6 \text{ m/s}$$

$$V = \sqrt{\frac{2 \times 1,26 \cdot 10^{-18}}{9,11 \cdot 10^{-31}}} \\ = 1,66 \times 10^6 \text{ m/s}$$

→ Pode-se ainda ver que o valor obtido experimentalmente tem um desvio de 1,77%.

②

$$a = \frac{E_c}{m_e \lambda}$$

$$\lambda = 0,002 \text{ m}$$

$$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

experimental

$$a = \frac{1,26 \cdot 10^{-18}}{0,002 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31}} = 6,92 \cdot 10^{14} \text{ m/s}^2$$

teórica

$$a = \frac{1,3 \cdot 10^{-18}}{0,002 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31}} = 7,14 \cdot 10^{14} \text{ m/s}^2$$

- Estes valores têm um desvio de 3,08%, mas ambos são bastante superiores à aceleração da gravidade, o que faz sentido pois a força elétrica que atua nos elétrons é bastante superior à força gravitacional.

③

$$E = hf \Leftrightarrow f = \frac{E}{h}$$

$$E_c = 1,3 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$f = \frac{1,3 \cdot 10^{-18}}{6,626 \cdot 10^{-34}} = 1,96 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

→ Isto corresponde a radiação UV, que não é visível, mas que pode ser detetada com aparelhos apropriados.

④

O mínimo do gráfico  $I(V)$  corresponde ao ponto em que a corrente elétrica tem o menor valor. Isto deve-se ao facto que este ponto corresponde à voltagem para a



qual ocorre o maior número de colisões entre átomos de sódio e elétrons. Assim, ocorre mais absorção de energia cinética por parte dos átomos de sódio, pelo que ocorre a excitação dos mesmos.

Agora, como nem todos os elétrons colidem com átomos de sódio, a corrente elétrica <sup>elétrica</sup> ~~vai~~ se chega a um valor, em vez disso, a desce gradualmente até ao mínimo.

$$\begin{aligned} \textcircled{5} \text{ teórico} &\longrightarrow E_{ci} = 12,13 \times 1,6 \times 10^{-19} = 1,94 \cdot 10^{-18} \text{ J} \\ \text{experimental} &\longrightarrow E_{ci} = 13,05 \times 1,6 \times 10^{-19} = 2,09 \cdot 10^{-18} \text{ J} \end{aligned}$$

↓  
Energia de ionização

$$V = \sqrt{\frac{2E_{ci}}{m_e}}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\text{teórico} \longrightarrow V_t = \sqrt{\frac{2 \times 1,94 \cdot 10^{-18}}{9,1 \cdot 10^{-31}}} = 2,06 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

$$\text{experimental} \longrightarrow V_e = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,09 \cdot 10^{-18}}{9,1 \cdot 10^{-31}}} = 2,14 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

(Estes valores apresentam um desvio de 3,7%.)

$$\textcircled{6} \quad E = hf \Leftrightarrow f = \frac{E_{in}}{h} \quad \begin{aligned} E_{in} &= E_{ci} = 1,94 \cdot 10^{-18} \text{ J} \\ h &= 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \end{aligned}$$

$$\text{Assim, } f = \frac{1,94 \cdot 10^{-18}}{6,626 \cdot 10^{-34}} = 2,93 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

Agora, esta é uma radiação Ultra Violeta.