

70%

Reservada (inverteza)

-10

(-5)

Aula 3- 21/03/2022

Ajuda

Condução  
Propagação

(-10)

(-5)

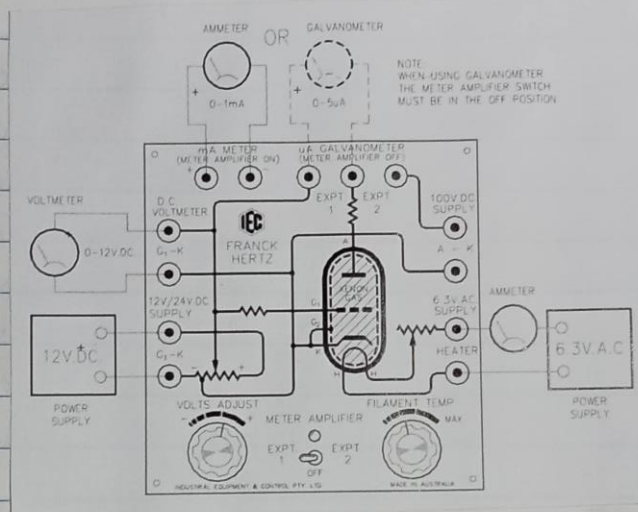
Experiência de Franck - Hertz e determinação da energia de ionização do xénon.

### Objetivos

- 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.

### Protocolo

- procedimento 1 - primeira energia de excitação de átomos de xénon.



Selecione 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.

Regular a corrente de aquecimento para o valor máximo.

Variando o potencial acelerador, registre a corrente que atravessa a válvula.

- Determine a primeira energia de excitação do xénon. Determine o mínimo de  $I(V_{acc})$  num intervalo em torno da energia de excitação prevista. (crescimento + decréscimo + porção mínimo)

↑ que deve ser a estuda

- procedimento 2 - ionização de átomos de xénon

Selecione a experiência 2 (EXPT. 2)

Regular a corrente de aquecimento para aproximadamente 0,46 A.

Para vários valores de potencial acelerador, registre a corrente que atravessa a válvula.

- Determine o potencial de aceleração limiar e a primeira energia



de ionização do xénon.

### Introdução Teórica

excitação |  $E_c = e \cdot V_{acel}$  (energia cinética dos elétrons na zona da gelha)  
• se  $E_c < (\Delta E = E_1 - E_0)$  os elétrons só poderão perder energia  
•  $E_c = \Delta E$  - colisões inelásticas (corrente do ânodo diminui)

- ionização

$E_i = |e \cdot V_{acc. limiar}|$  (potencial de aceleração para o valor nulo da corrente de ionização (potencial de aceleração limiar))

✓ Aparelho e dados: Inertugas etc.

### Dados

Montagem 1 | 0,52 mA ; 6,3 V

Montagem 2 | 0,46 mA

V (Volt)

I (mA)

V (Volt)

I

-1,074 | 0,0030

0,191 | 3,28

escala

-0,042 | 0,0713

1,290 | 3,26

20 V;

1,126 | 0,3159

2,804 | 3,36

(200  $\mu$ A)

2,173 | 0,4835 V

4,244 | 3,34

(e 2 mA)

3,263 | 0,4674

5,617 | 3,27

4,599 | 0,3666

6,715 | 3,27

5,444 | 0,3155

7,979 | 3,27

6,399 | 0,2817

9,154 | 3,28

7,218 | 0,2694

9,870 | 3,30

8,182 | 0,2687

11,655 | 3,31

9,952 | 0,2921

12,915 | 4,82

10,809 | 0,3101

13,516 | 9,27

10,975 | 0,3146

13,796 | 14,12

5,563 | 0,3103

14,219 | 31,59

5,852 | 0,2189

14,680 | 54,44

6,078 | 0,2917

15,396 | 87,34

6,433 | 0,2826

16,127 | 119,18

6,739 | 0,2769

17,156 | 162,11

7,046 | 0,2730

18,072 | 0,1982 mA = 198,2  $\mu$ A

7,388 | 0,2708

19,435 | 0,2510 mA = 251,0  $\mu$ A

7,796 | 0,2705

21,31 | 0,3228 mA = 322,8  $\mu$ A

8,148 | 0,2718

8,514 | 0,2745

9,027 | 0,2805

9,300 | 0,2847

$\mu$ A

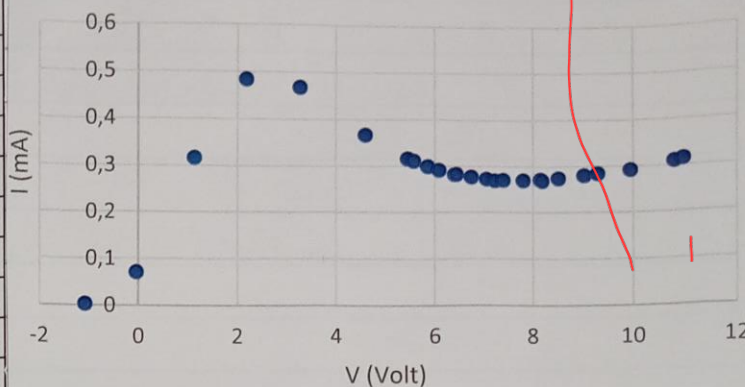


## Análise e tratamento de dados

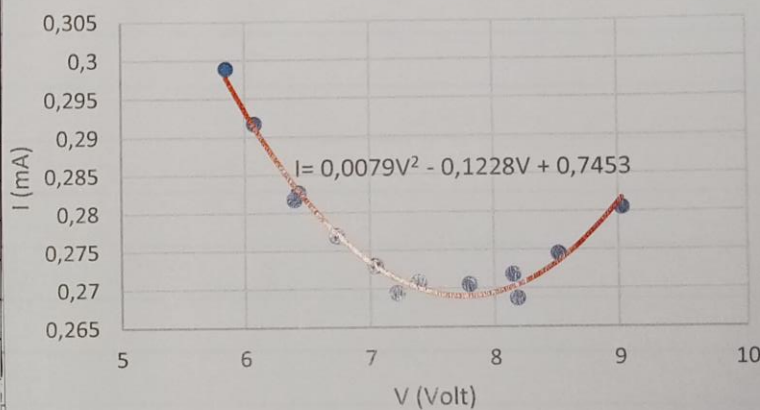
### Energia de excitação

V (V)	I (mA)	ln(I)	Fit	Resíduos
-1,074	0,003	-5,80914	-2,58909	3,220051
-0,042	0,0713	-2,64086	-2,42713	0,213726
1,126	0,3159	-1,15233	-2,24383	-1,0915
2,173	0,4835	-0,7267	-2,07952	-1,35281
3,263	0,4674	-0,76057	-1,90846	-1,14789
4,591	0,3666	-1,00348	-1,70004	-0,69656
5,444	0,3155	-1,1536	-1,56618	-0,41258
5,563	0,3103	-1,17022	-1,5475	-0,37729
5,852	0,2989	-1,20765	-1,50215	-0,2945
6,078	0,2917	-1,23203	-1,46668	-0,23465
6,399	0,2817	-1,26691	-1,4163	-0,14939
6,433	0,2826	-1,26372	-1,41097	-0,14724
6,739	0,2769	-1,2841	-1,36294	-0,07884
7,046	0,273	-1,29828	-1,31476	-0,01648
7,218	0,2694	-1,31156	-1,28777	0,023787
7,388	0,2708	-1,30637	-1,26109	0,045283
7,796	0,2705	-1,30748	-1,19706	0,110422
8,148	0,2718	-1,30269	-1,14182	0,160869
8,182	0,2687	-1,31416	-1,13648	0,177676
8,514	0,2745	-1,2928	-1,08438	0,208423
9,027	0,2805	-1,27118	-1,00387	0,26731
9,3	0,2847	-1,25632	-0,96103	0,295291
9,952	0,2921	-1,23066	-0,85871	0,371954
10,809	0,3101	-1,17086	-0,72421	0,44665
10,975	0,3146	-1,15645	-0,69816	0,458294

Pontos

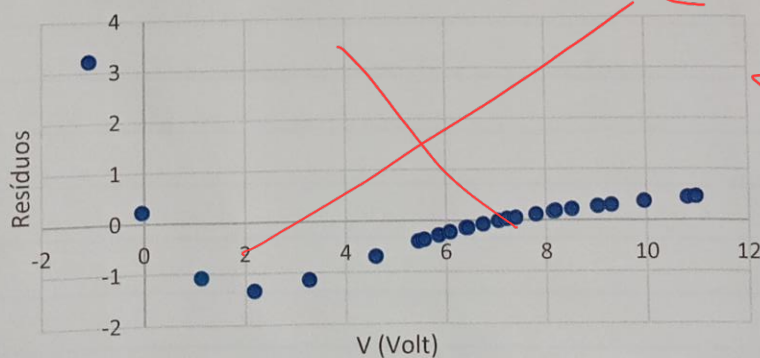


Energia de excitação



ln I porquê!

Resíduos



← que resíduos sem sentido!

$$I'(V) = 0,0158 V - 0,1228$$

$$I(7,77) = 0,0079 \times (7,77)^2 - 0,1228 \times 7,77 + 0,7453$$

$$I'(V) = 0 \Rightarrow V \approx 7,77 V$$

$$\Rightarrow I(7,77) \approx 0,268 \text{ mA}$$

$$E_e = e \times V = 7,77 \text{ eV}$$

$$\text{Energia de excitação} = 7,77 \text{ eV}$$

$$E_r(\%) = \frac{18,3 - 7,77}{8,3} \times 100 = 6,4\%$$

8,3

Incerteza de  $E_r$

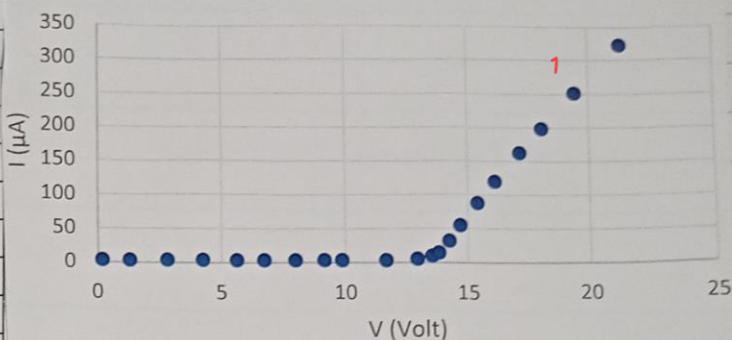


• Energia de ionização

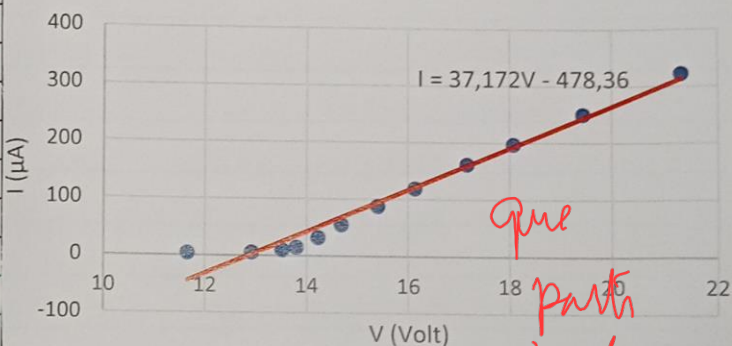
?  $\ln I$ ?

V (V)	I ( $\mu A$ )	$\ln(I)$	Fit	Resíduos
0,191	3,28	1,187843	-0,09978	-1,28762
1,29	3,26	1,181727	0,178863	-1,00286
2,804	3,36	1,211941	0,562722	-0,64922
4,244	3,34	1,205971	0,927819	-0,27815
5,617	3,27	1,18479	1,275929	0,091139
6,715	3,27	1,18479	1,554316	0,369526
7,979	3,27	1,18479	1,87479	0,69
9,154	3,28	1,187843	2,1727	0,984856
9,87	3,3	1,193922	2,354234	1,160312
11,655	3,31	1,196948	2,806803	1,609855
12,915	4,82	1,572774	3,126263	1,553489
13,516	9,37	2,237513	3,27864	1,041127
13,796	14,12	2,647592	3,349632	0,702039
14,219	31,59	3,452841	3,456879	0,004038
14,68	54,44	3,997099	3,573761	-0,42334
15,396	87,34	4,469809	3,755295	-0,71451
16,127	119,18	4,780635	3,940633	-0,84
17,156	162,11	5,088275	4,201525	-0,88675
18,072	198,2	5,289277	4,433768	-0,85551
19,435	251	5,525453	4,779343	-0,74611
21,31	322,8	5,777033	5,25473	-0,5223

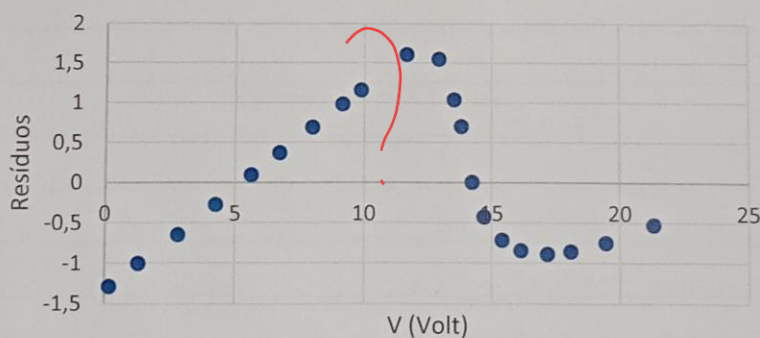
Pontos



Energia de ionização



Resíduos



$$I = 37,172 V - 478,36$$

$$I = 0 \Rightarrow V \approx 12,87 V$$

$$E_i = |e \times V| = 12,87 eV$$

$$\text{Energia de ionização} = 12,87 eV$$

$$E_e (\%) = \frac{|12 - 12,87|}{12} \times 100 \approx 7,25 \%$$

Inerteza

Valor sugerido no protocolo

Valor procurado em fonte usada — SIM

$$E_x = 12,13 eV$$



• Propagação de incerteza

$$E = e \times V$$

$$u^2(E) = \left( \frac{\delta E}{\delta V} \right)^2 u^2(V) \Rightarrow u(E) = u(V)$$

$\downarrow = 1$

$$u(E) = e u(V)$$

- Energia de excitação = 7,77 eV

$$u(E) = u(V) \Rightarrow u(E) = 0,001$$

• incerteza relativa percentual

$$u_r(E) \% = \frac{0,001}{7,77} \times 100 = 0,012 \%$$

$$E_e = (7,77 \pm 0,01\%) \text{ eV}$$

nta n c/ em absoluto

- Energia de ionização = 12,87 eV

$$u(E) = u(V) \Rightarrow u(E) = 0,001$$

• incerteza relativa percentual

$$u_r(E) \% = \frac{0,001}{12,87} \times 100 = 0,008 \%$$

$$E_i = (12,87 \pm 0,01\%) \text{ eV}$$

- Analise dados:

• velocidade dos elétrons (relativamente ao valor mínimo observado correspondente à primeira energia de excitação)

$$E_e = E_{\text{cin}} \Rightarrow e \times 7,77 = \frac{1}{2} m v^2 \Rightarrow 1,6 \times 10^{-19} \times 7,77 = \frac{1}{2} m v^2$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \times 1,6 \times 10^{-19} \times 7,77}{9,109 \times 10^{-31}}} \Rightarrow v = 1,65 \times 10^6 \text{ m/s} \quad \left| e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C} \right.$$

(relativamente à primeira energia de ionização)

$$E_i = E_{\text{cin}} \Rightarrow 1,6 \times 10^{-19} \times 12,87 = \frac{1}{2} m v^2$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \times 1,6 \times 10^{-19} \times 12,87}{9,109 \times 10^{-31}}} \Rightarrow v = 2,13 \times 10^6 \text{ m/s}$$

• frequência da radiação e localização da radiação no espectro eletromagnético

- absorvida (energia de excitação)

$$E = h f \Rightarrow 7,77 \times 1,6 \times 10^{-19} = 6,626 \times 10^{-34} f \Rightarrow f = 1,9 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

$$v = \lambda f \Rightarrow \lambda = (1,65 \times 10^6) / (1,9 \times 10^{15}) \Rightarrow \lambda = 8,7 \times 10^{-10} \text{ m} \Rightarrow \lambda = 87 \text{ nm}$$

→ radiação ultravioleta



- emitida (energia de ionização)

$$E = hf \Rightarrow 12,87 \times 1,6 \times 10^{-19} = 6,626 \times 10^{-34} f \Rightarrow f = 3,1 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow \lambda = (2,13 \times 10^8) / (3,1 \times 10^{15}) \Rightarrow \lambda = 6,9 \times 10^{-10} \text{ m} \Rightarrow \lambda = 69 \text{ nm}$$

→ radiação ultravioleta

- Para os elétrons colidirem inelasticamente a variação de energia tem que ser igual à energia cinética

⇓

$$\Delta E = |E_1 - E_0| = |-3,4 + 13,6| = 10,2 \text{ eV}$$

$$E_c = 10,2 \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ J} \Rightarrow \frac{1}{2} m v^2 = 10,2 \times 1,6 \times 10^{-19}$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{10,2 \times 1,6 \times 10^{-19} \times 2}{9,109 \times 10^{-31}}} \Rightarrow v = 1,9 \times 10^6 \text{ m/s}^2$$

$\Delta E = |E_1 - E_0|$   $E_1 \rightarrow$  primeiro nível de excitação  
 $E_0 \rightarrow$  estado fundamental

→ velocidade dos elétrons quando as colisões, resultantes da excitação, são inelásticas

### Conclusão

Com esta atividade foi possível determinar valores experimentais de primeira energia de ionização e de excitação dos elétrons do átomo de xénon com uma margem de erro, relativamente a valores previstos, de 7,25% e 6,4%, respectivamente. Interessante quanto às margens

A partir dos gráficos de pontos obtidos, a energia de excitação foi calculada a partir da equação de ajuste polinomial de grau 2, num intervalo que contém o mínimo do gráfico, e esse mínimo corresponde ao potencial acelerador:  $E_e = e \times V_{\text{acel}}$ . A energia de ionização foi calculada a partir da equação de ajuste linear num intervalo em que I aumentava significativamente, na qual se considerava I nulo, obtendo-se assim o potencial de aceleração limial, que permitiu calcular a energia de ionização:  $E_i = 1 e \times V_{\text{acel. limial}}$ .

A partir da equação da energia cinética calculou-se a velocidade dos elétrons para cada caso, e a frequência de radiação, obtendo-se assim o comprimento de onda da radiação emitida ou absorvida pelo elétron. Conclui-se que os elétrons do átomo de xénon, quando excitados ou ionizados, absorvem e emitem, respectivamente, radiação ultravioleta, (apenas para a primeira energia de excitação e de ionização).