

Experiência da Franck-Hertz e determinação da energia de ionização do elétron

1. Objetivos do trabalho:

- Análise do funcionamento de uma valvula
- Determinação experimental das energias de excitação e ionização do átomo de hélio.

$$E_{e_1} \Rightarrow \frac{dV}{dI} = 0 \wedge \frac{d^2V}{dI^2} > 0$$

↳ A primeira energia de excitação do hélio corresponde ao mínimo da função $V(I)$ (vacil) (mínimo em função do potencial de aceleração)

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

↳ A energia de ionização do hélio é dada pelo módulo do produto entre a carga do elétron e o potencial de ionização elétrica ($\approx 12 \text{ eV}$)

2. Procedimento experimental:

Material necessário:

esquema e xp.
(circuitos e esquemas de rede)

=> bobina integral (valvula com gás rústico e circuitos elétricos).

=> Fontes de tensão com saídas 6,3 Vac, 12 Vdc, 24 Vdc, 100 Vdc.

=> Três multímetros.

(I) Efetuar as ligações elétricas conforme na figura 1 onde está?

(II) Selecionar a experiência 1 (EXPT. 1)

(III) Regulam a corrente de aquecimento para o valor indicado.

(IV) Variando o potencial acelerador, registre a corrente que atravessa a valvula.

(V) Faça um estudo gráfico dos resultados obtidos e determinar a primeira energia de ionização do hélio.

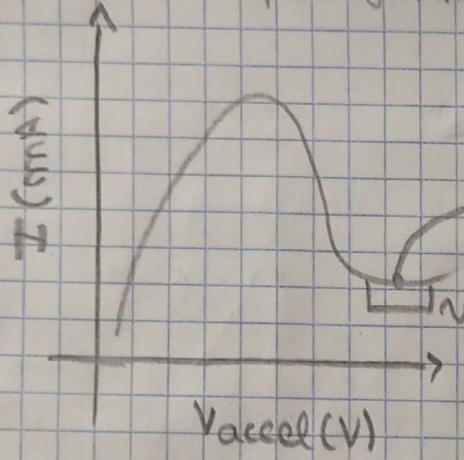
Passo relativos à experiência 1.

Notas do vídeo:

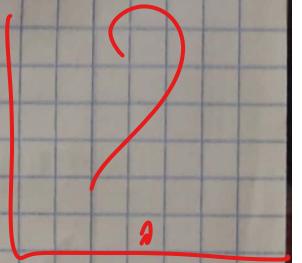
- Não ligar os geradores se a pressão das catodizadoras
- ligar primeiro o gerador que alimenta o filamento de tungstênio.
- Estabelecer a corrente de aquecimento.
- Procurar a gama ótima para o estudo experimental (crescimento - platômetro - diminuição - minimismo - crescimento baixo)

- (I) Efetuou as ligações elétricas indicadas na figura 2. ? onde está?
- (II) Selecionou a experiência 8 (Exp. 8).
- (III) Regulou a corrente de aquecimento para aproximadamente 0,40 A.
- (IV) Para vários valores de Potencial acelerador, registrou a corrente que atravessa a valvula.
- (V) Faz o um estudo gráfico dos resultados obtidos. Determinar o potencial de aceleração elétrica e a primária energia de ionização do elétron.

1º) Variamento para garantir o paralelo.



2º)



V_{accel} (V) ($\pm 0,001$)	V_{acc} (V) $\pm (0,001)$
4,249	
5,532	0,025
6,459	0,060
7,318	0,881
7,896	18,281
8,040	18,403
8,752	10,967
8,031	10,972
9,505	0,025
10,119	0,605
10,428	0,755
	0,854
	1,292
	1,955
	2,154
	3,064
	3,490
	4,053
	4,200
	4,431
	4,666
	4,726
	4,794
	4,896
	5,101
	5,237
	5,510
	5,628
	6,056
	6,158
	6,227
	6,282
	7,195
	9,163
10,001	

*M/Sat
N/Pepa B+*

V acel. (V)	I (mA)
0,025	0,1214
0,605	0,2719
0,878	0,231
1,355	0,4104
1,654	0,4492
2,129	0,4844
2,955	0,4917
3,154	0,4819
3,364	0,469
3,466	0,4619
4,059	0,4159
4,264	0,3997
4,431	0,3867
4,556	0,3773
4,726	0,3652
4,794	0,3602
4,896	0,353
5,101	0,341
5,237	0,334
5,51	0,3198
5,237	0,3145
5,51	0,2988
5,628	0,2957
6,056	0,2923
6,151	0,2906
6,227	0,2885
6,282	0,2855
6,35	0,284
6,432	0,2795
6,568	0,278
6,637	0,2769
6,908	0,2766
7,011	0,2759
7,114	0,2755
7,157	0,275
7,25	0,2747
7,317	0,2742
7,387	0,274
7,455	0,2743
7,625	0,2746
7,66	0,2753
7,728	0,2773
8,001	0,2803
8,07	0,2819
8,205	0,2835
8,479	0,2844
8,787	0,2851
8,924	0,2857
9,026	0,2867
9,089	0,2884
9,129	0,2913
9,163	0,292

V acel. (V)	I (mA)
0,025	0,0932
1,013	0,3134
1,552	0,4183
1,616	0,4282
1,789	0,4513
2,005	0,4751
2,206	0,49
2,342	0,4948
2,444	0,4966
2,513	0,4973
3,036	0,4808
3,274	0,4408
3,615	0,4488
3,854	0,4303
4,317	0,3935
4,606	0,3718
5,101	0,3399
5,306	0,3284
5,7	0,3101
6,056	0,2972
6,367	0,288
6,568	0,2832
6,738	0,28
7,144	0,2747
7,591	0,2726
8,001	0,2762
8,514	0,2827
9,06	0,2966
9,881	0,3046
10,291	0,3082
10,463	0,3109
10,567	0,3208

V acel. (V)	I (mA)
5,578	0,3099
5,885	0,2979
6,089	0,2913
6,226	0,2877
6,363	0,2845
6,499	0,2815
6,67	0,2783
6,908	0,2748
7,045	0,2734
7,284	0,2714
7,557	0,2704
7,761	0,2702
7,966	0,2708
8,137	0,2715
8,315	0,2731
8,56	0,2752
8,786	0,2771
8,911	0,2788
8,962	0,2796
8,991	0,28
9,091	0,2813
9,162	0,2815
9,265	0,284
9,333	0,2859
9,436	0,2877
9,573	0,2901
9,675	0,292
9,88	0,2957
10,052	0,2988
10,336	0,3045
10,531	0,3091
10,908	0,3182
10,972	0,3201

Experiencia 2

m

$$0,0150523 -0,10644 b$$

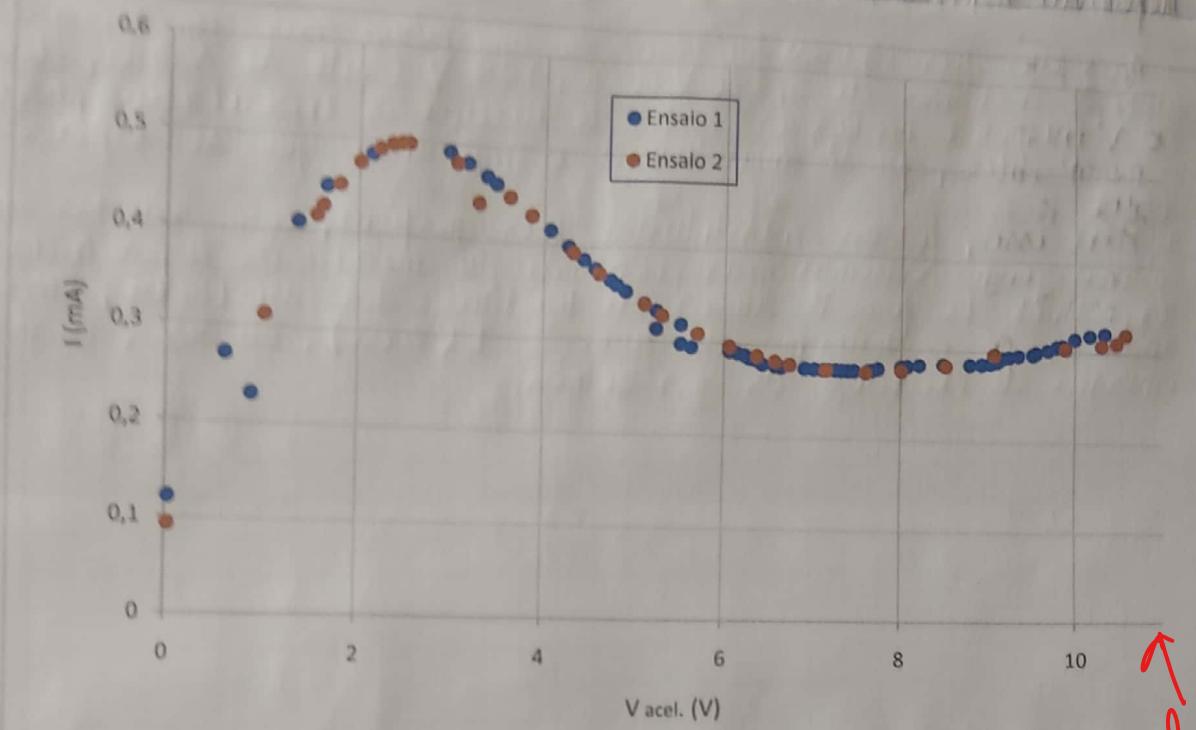
σ_m

$$0,0015897 0,024796 \sigma_b$$

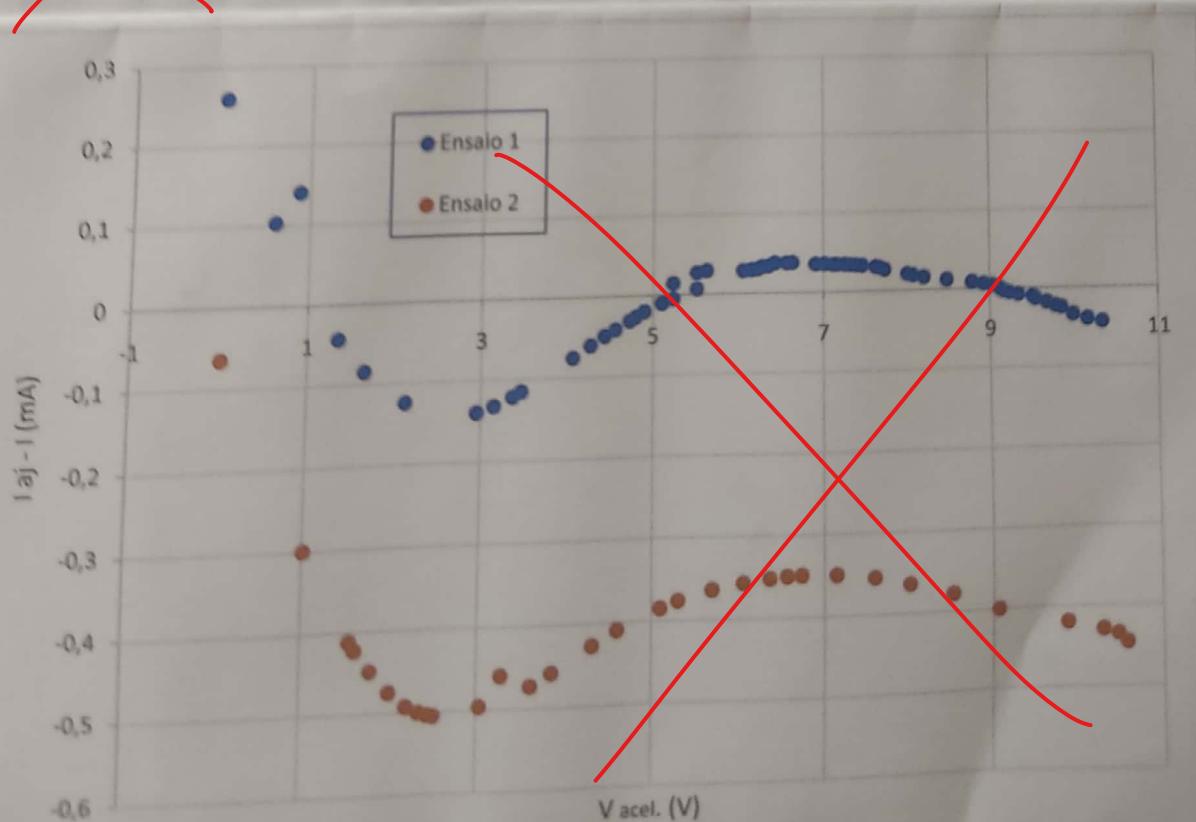
r^2

$$0,7430675 0,051489 \sigma_y$$

Na primeira etapa foram realizados dois ensaios experimentais distintos que combinaram as gárgas de 0,029 V a 10,326 V e os resultados são os seguintes para se obter o perfil do gráfico da I com função de V_{acel.}. portanto.



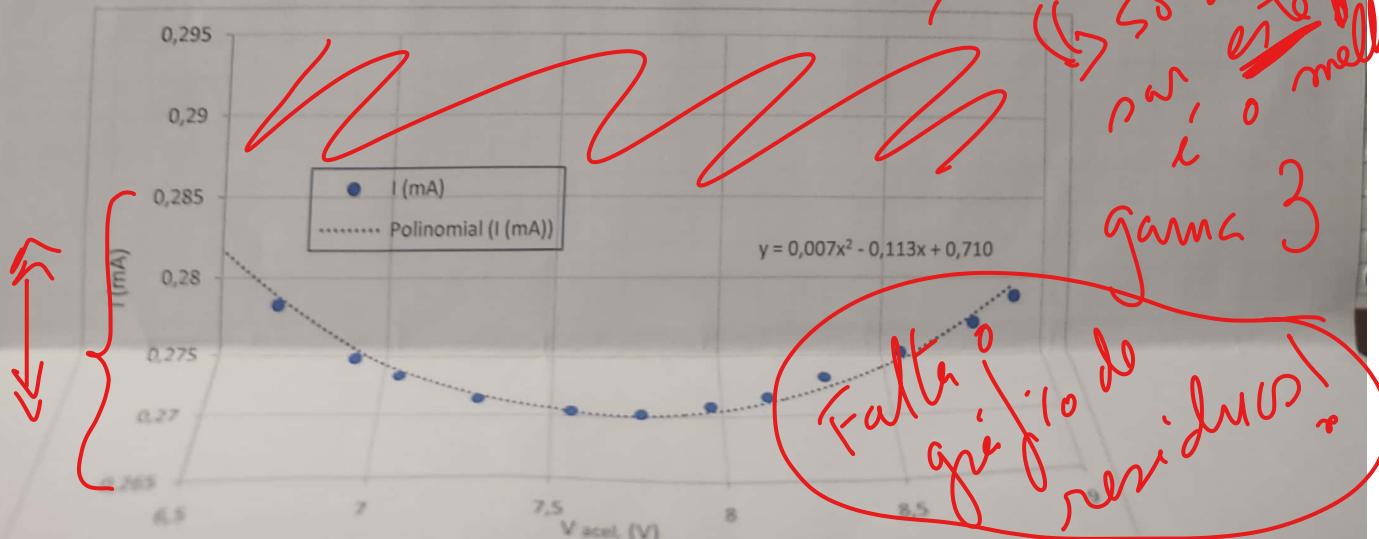
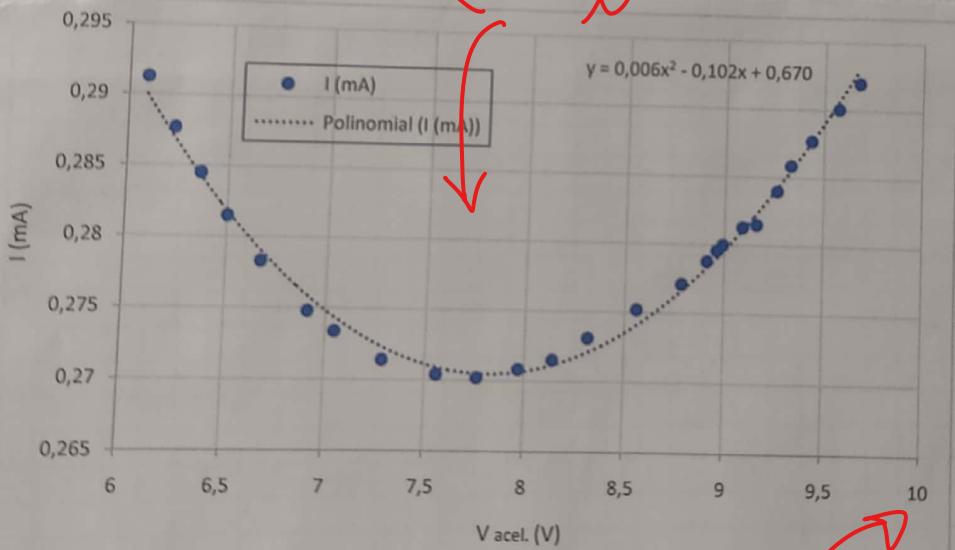
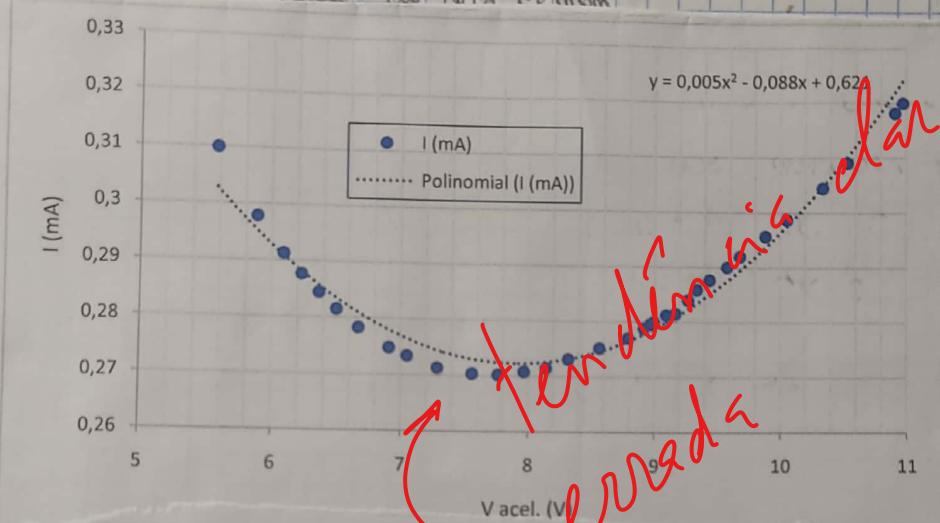
- Os valores destes ensaios correspondem à primeira e segunda tabelas apresentadas anteriormente.
- De facto observa-se o perfil esperado, enquanto V_{acel} aumenta, a corrente no ânodo aumenta até alcançar um máximo, após isso, diminui até ao valor que corresponde à primeira energia de excitação do gás zérmão.
- De seguida apresenta-se o gráfico da dispersão para os valores experimentais obtidos em ambos os ensaios.



O gráfico obtido apresenta uma tendência polinomial, e fazendo 2 pontos, estes podem seguir essa mesma tendência com segurança. Além disso, o gráfico tem o deserto do amônio, porém, refletido segundo o eixo horizontal.

Após estes dois ensaios foi realizado um outro mas com especial atenção a gama de 5,670 V a 10,970 V onde se sobra, devido ao momento realizado antes de iniciar a experimentação proposta. A figura dita, que se encontra no gráfico o mínimo que se espera obter.

Para isso, foram construídos três gráficos, com valores em gama progressivamente mais próximos do mínimo. A partir das expressões da função linear de tendência dos resultados, encontra-se-a o mínimo da função I (Vocel), ou seja, a mínima tensão de excitação da unidade.



• Procurar no ponto que satisfaz as seguintes condições:

$$\hookrightarrow \frac{dI}{dV} = 0 \wedge \frac{d^2I}{dV^2} > 0.$$

Para a primeira equação:

$$\hookrightarrow I = 0,005 V^2 - 0,088V + 0,621$$

$$\Leftrightarrow \frac{dI}{dV} = 0,01V - 0,088$$

$$\frac{dI}{dV} = 0 \Rightarrow V = \frac{0,088}{0,01} = 8,8 \text{ eV}$$

$$\text{Pois } \frac{d^2I}{dV^2} = 0,01 > 0$$

$$\therefore E_{\text{excitação}} = 8,8 \text{ eV}$$

Para a segunda equação:

$$\hookrightarrow I = 0,006 n^2 - 0,102n + 0,670$$

$$\Leftrightarrow \frac{dI}{dn} = 0,012n - 0,102$$

$$\frac{dI}{dn} = 0 \Rightarrow n = \frac{0,102}{0,012} = 8,5 \text{ eV}$$

$$\frac{d^2I}{dn^2} = 0,012 > 0$$

$$\therefore E_{\text{excitação}} = 8,5 \text{ eV}$$

Para a terceira equação:

$$\hookrightarrow I = 0,007 V^2 - 0,113V + 0,710$$

$$\Leftrightarrow \frac{dI}{dV} = 0,014V - 0,113$$

$$\frac{dI}{dV} = 0 \Rightarrow V = 8,07 \text{ eV}$$

$$\frac{d^2I}{dV^2} = 0,007 > 0.$$

$$\therefore E_{\text{excitação}} = 8,07 \text{ eV}$$

$$\text{Excitação} = \frac{8,07 + 8,5 + 8,07}{3} = 8,45667 \text{ eV}$$

como acertou no P1

meu interesse

Para obtermos a
mín. de V_{exc}
pode fazer o
aj. sem a
2º ponto e
dir. entre e
com k também

$$= 0,366984$$

$$M(E_{\text{calcular}}) = 0,366984 = 0,3$$

$$\Rightarrow E_{\text{exercício}} = (8,9 \pm 0,3) \text{ eV}$$

→ tinha - come esperado
de colocar os colcos
wem os botos de
ajuste de cada um
dos ensaios, que
serviam para oms.
trair o grafico dos
resíduos.

Ensaio 1 aj

I aj (mA)	I aj - I (mA)
0,380858	0,259458
0,37509	0,10319
0,372375	0,141375
0,36763	-0,04277
0,364657	-0,08454
0,359933	-0,12447
0,351717	-0,13998
0,349738	-0,13216
0,34765	-0,12135
0,346635	-0,11526
0,340737	-0,07516
0,338699	-0,061
0,337038	-0,04966
0,335794	-0,04151
0,334104	-0,0311
0,333427	-0,02677
0,332413	-0,02059
0,330374	-0,01063
0,329021	-0,00498
0,326306	0,006506
0,329021	0,014521
0,326306	0,027506
0,325133	0,029433
0,320876	0,028576
0,319931	0,029331
0,319175	0,030675
0,318628	0,033128
0,317952	0,033952
0,317136	0,037636
0,315784	0,037784
0,315097	0,038197
0,312402	0,035802
0,311378	0,035478
0,310353	0,034853
0,309926	0,034926
0,309001	0,034301
0,308334	0,034134
0,307638	0,033638
0,306962	0,032662
0,305271	0,030671
0,304923	0,029623
0,304247	0,026947
0,301532	0,021212

Ensaio 2 aj

I aj (mA)	I aj - I (mA)
0,029075	-0,0641254
0,014642	-0,2987581
0,006768	-0,4115319
0,005833	-0,4223668
0,003306	-0,447994
0,000151	-0,4749493
-0,00279	-0,4927855
-0,00477	-0,4995722
-0,00626	-0,5028622
-0,00727	-0,5045702
-0,01491	-0,4957102
-0,01839	-0,4591869
-0,02337	-0,4721683
-0,02686	-0,4571596
-0,03362	-0,4271231
-0,03784	-0,4096449
-0,04508	-0,3849759
-0,04807	-0,3764705
-0,05383	-0,3639261
-0,05903	-0,3562265
-0,06357	-0,3515697
-0,06651	-0,3497059
-0,06899	-0,3489892
-0,07492	-0,3496201
-0,08145	-0,3540499
-0,08744	-0,3636392
-0,09493	-0,3776331
-0,10291	-0,3995091
-0,1149	-0,4195024
-0,12089	-0,4290917
-0,1234	-0,4343042
-0,12492	-0,4457235

Ensaio 1

m	-0,00994566	0,38 b
σ_m	0,003049043	0,02 σ_b
r^2	0,150622506	0,06 σ_y

Ensaio 2

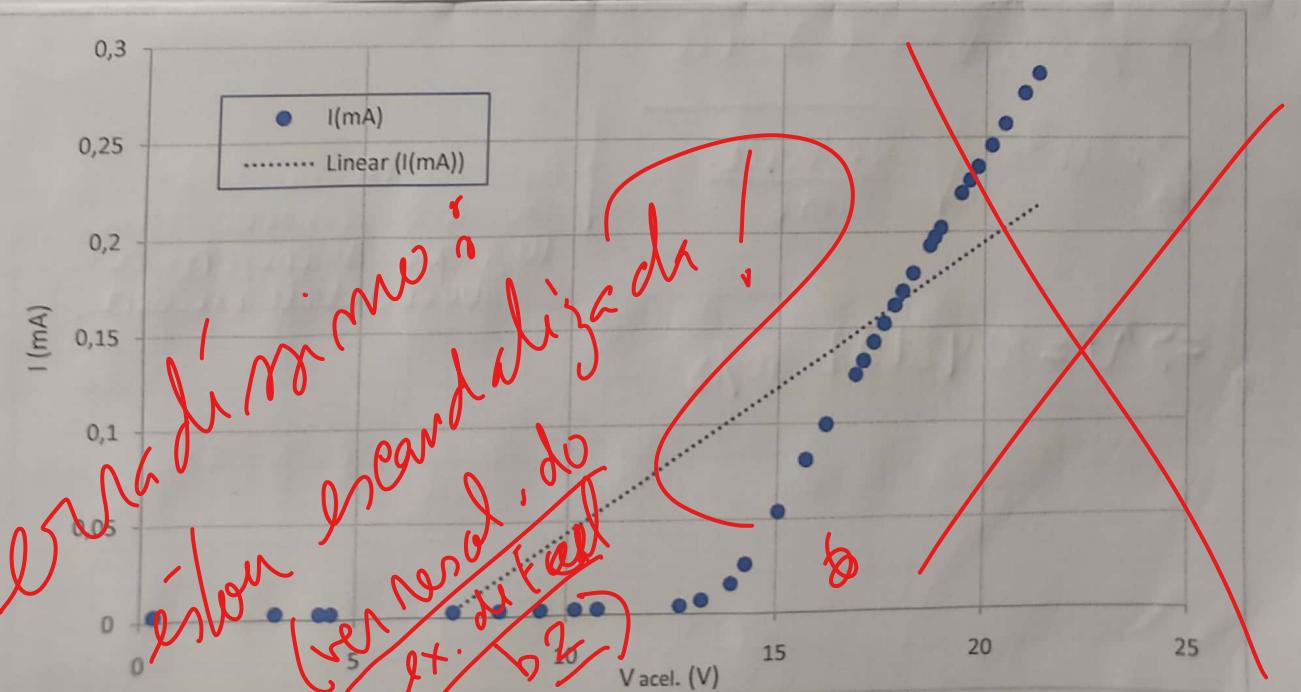
m	-0,01460806	0,43 b
σ_m	0,004958659	0,03 σ_b
r^2	0,224379951	0,08 σ_y

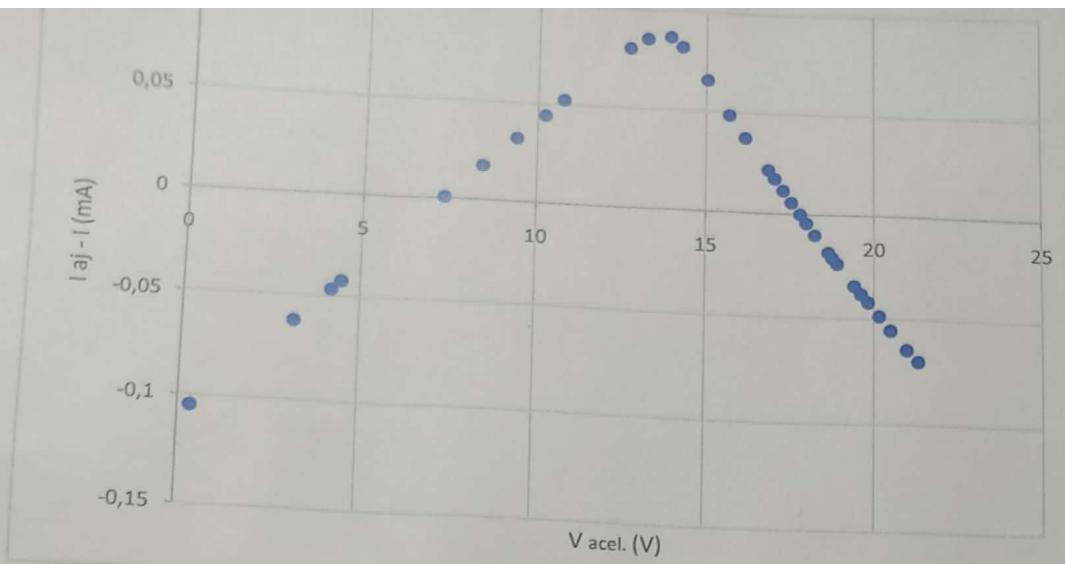
rotinas de
ajuste de
cada um
dos ensaios
realizados

	Iaj (mA)	Iaj - I (mA)
0,33	0,0031	-0,1014722
3,14	0,0031	-0,0591752
4,17	0,0031	-0,0436713
4,45	0,0031	-0,0394567
7,33	0,0031	0,0038939
8,42	0,0031	0,0203009
9,39	0,0031	0,0349017
10,21	0,0031	0,0472446
10,75	0,0031	0,0553728
12,7	0,0045	0,0847248
13,22	0,0072	0,092552
13,91	0,0161	0,1029381
14,26	0,0262	0,1082064
15,02	0,054	0,1196462
15,68	0,0812	0,1295807
16,16	0,0996	0,1368058
16,85	0,1257	0,1471919
17,04	0,1328	0,1500518
17,29	0,1423	0,1538149
17,54	0,1519	0,157578
17,8	0,1615	0,1614916
17,99	0,1687	0,1643515
18,24	0,1782	0,1681146
18,64	0,1926	0,1741355
18,76	0,197	0,1759418
18,9	0,2019	0,1780491
19,41	0,2202	0,1857258
19,61	0,2271	0,1887362
19,82	0,2341	0,1918972
20,15	0,2456	0,1968645
20,48	0,2573	0,2018317
20,96	0,2736	0,2090568

- Na segunda parte da experiência foi mais uma vez estudada a relação da corrente no âmolo com o potencial de aceleração, para o qual se obtiveram os resultados ao lado.
- Desta vez o objetivo era determinar E_i , a primeira energia de ionização do argônio. Esta obtem-se a partir o potencial de aceleração límico, o valor para o qual a corrente se anula.
- Em seguida apresenta-se o gráfico obtido, que possui o comportamento esperado.
- Por último, continuamos o gráfico dos resíduos, que também apresenta uma tendência, apesar de particular.
- Desta vez, pelo menos visualmente não se encontra nenhuma relação entre este e o gráfico dos dados experimentais.

> Ao longo da experiência todas as medições foram realizadas com apanhadores ligados, pelo que o algoritmo usado é aquele que ocupa a última cara binária.





A expressão que se obtém é:

$$I = 0,0150523V - 0,10044$$

$$I = 0 \Rightarrow V = 7,074V$$

Este resultado não faz sentido numa WZ que é infinito aquela obteção para a primeira energia de excitação.

Razão,

Respostas às perguntas do protocolo:

1.

$$E_e = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E_e = e \cdot V_{acele}.$$

$$\hookrightarrow \frac{1}{2}mv^2 = e \cdot V_{acele}$$

$$\therefore v^2 = \sqrt{\frac{2e \cdot V_{acele}}{m_e}}$$

Apenas se considera a solução positiva numa WZ que se procura a velocidade escalar.

$$\Rightarrow v = 998197 \text{ m/s}$$

Pela segunda lei de Newton:

$$\vec{F} = m \vec{a} \Leftrightarrow \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

$$\Leftrightarrow a = \frac{e \cdot E}{m \cdot c} = \frac{e \cdot \Delta V}{m \cdot c} = 1,9 \times 10^{17} \text{ m/s}^2$$

união?

3. $E = h\nu$, (relação de Planck)

$$\hookrightarrow \nu = \frac{E}{h} = \frac{e \cdot V_{\text{acel}}}{h} = 6,17 \times 10^{17} \text{ Hz}$$

{ Zona do ultra-violeta.

4.

Se o potencial de aceleração for suficientemente alto, é provável que a energia cinética dos elétrons provenientes do catodo seja igual à primeira unidade de excitação dos átomos de cromo, as colisões entre estes tornam-se inelásticas, havendo transferência de energia entre os elétrons do feixe e os cromos. Estes elétrons contribuem para a corrente no ânodo, que diminuiu. Numa situação ideal, onde a energia cinética de cada um destes elétrons fosse igual e bala que fosse suficiente para ionizar o reino, seria de esperar que a corrente se anulasse, pois nenhum elétron atingiria o ânodo. No entanto experimentalmente há a possibilidade de os elétrons do feixe possuírem velocidades diferentes e consequentemente energias cinéticas distintas, sendo constatado que mesmo no topo da corrente, ainda há que estes elétrons não estão capazes de ionizar os átomos do cromo e, por isso, eventualmente chegarão ao ânodo.

excitação

5.

$$E_C = \frac{1}{2} m v^2$$

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

$$\frac{1}{2} m e v^2 = |e \cdot V_{\text{acel. lítio}}|$$

$$\therefore v = \sqrt{\frac{2 |e \cdot V_{\text{acel. lítio}}|}{m}}$$

$$= 2,7 \times 10^7 \text{ m/s}$$

Resultado
dúvidas quais
é igual a
velocidade
da luz no vácuo

Resultado final?

Conclusão:

- O resultado obtido na segunda experiência para a primeira energia de excitação do cromo é absurdo, tecnicamente espera-se um resultado perto de 18 eV.
- O resultado obtido na primeira experiência é aceitável quando comparado com 8,3 eV, que é o resultado matemático.

$$E_{\text{excitação}} = (8,4 \pm 0,3) \text{ eV}$$