

# ROTEIRO DO EXPERIMENTO

31 de março de 2023

## 1 Roteiro

### 1.1 Aquisição de dados:

1. Ligue a chave geral da fonte de alimentação que fica atrás da fonte.
2. Ligue o computador.
3. Clique no ícone *FHLab*. Ao clicar nesse ícone deve aparecer uma tela como a mostrada na Fig.1.1 (esquerda) abaixo.
4. Escolha uma porta de conexão na parte inferior da tela do programa *FHLab*. Normalmente é a de maior número.
5. No canto superior esquerdo da tela introduza um valor de temperatura para o tubo de Franck-Hertz. Com exceção dos equipamentos 3 e 4, cujas temperaturas recomendadas é de  $190^{\circ}C$  e  $165^{\circ}C$  respectivamente, os demais equipamentos recomenda-se a temperatura de  $180^{\circ}C$ .
6. Introduza um potencial de aceleração  $V_A$  de aproximadamente  $44 V$ .
7. Introduza um potencial de retardo  $V_R$  de aproximadamente  $2 V$ .
8. Coloque um ganho de  $80\%$ .
9. Clique no ícone *Filamento* para energizar o filamento do tubo de Franck-Hertz.
10. Ao introduzir todos os parâmetros de configuração do equipamento de Franck-Hertz, a tela do programa deve ter a aparência da mostrada na Fig.1.1 (direita).
11. Quando a temperatura estiver oscilando em torno do valor introduzido no ícone *Ajuste de Temperatura*, clique no ícone Iniciar. Ao acionar esse ícone, a curva de Franck-Hertz começará a ser escaneada. Quando o potencial de aceleração estiver próximo dos  $40 V$  o escaneamento deve parar automaticamente, se isto não acontecer, clique no ícone *Parar*. **Obs:** Pode ser que aconteça a ionização do gás no interior do tubo de Franck-Hertz. Caso isto aconteça, a corrente no ânodo deve crescer rapidamente atingindo a saturação. Se a quantidade de picos produzida for muito pequena ( $< 5$ ), então aumente a temperatura do equipamento para que a ionização não atrapalhe o surgimento dos picos. Normalmente a quantidade de picos obtidos nesses equipamentos é em torno de  $7 - 8$ .
12. Salve o arquivo com a extensão *E\_1\_180\_1*. Onde *E\_1* significa equipamento 1, *180* é a temperatura introduzida no equipamento e *1* representa a primeira aquisição. Após salvar, clique no ícone *Limpar* e faça uma nova aquisição.
13. Faça um total de 2 aquisições e salve cada uma delas.
14. Após fazer todas as aquisições clique no botão *Sair*.
15. Desligue a fonte de alimentação.

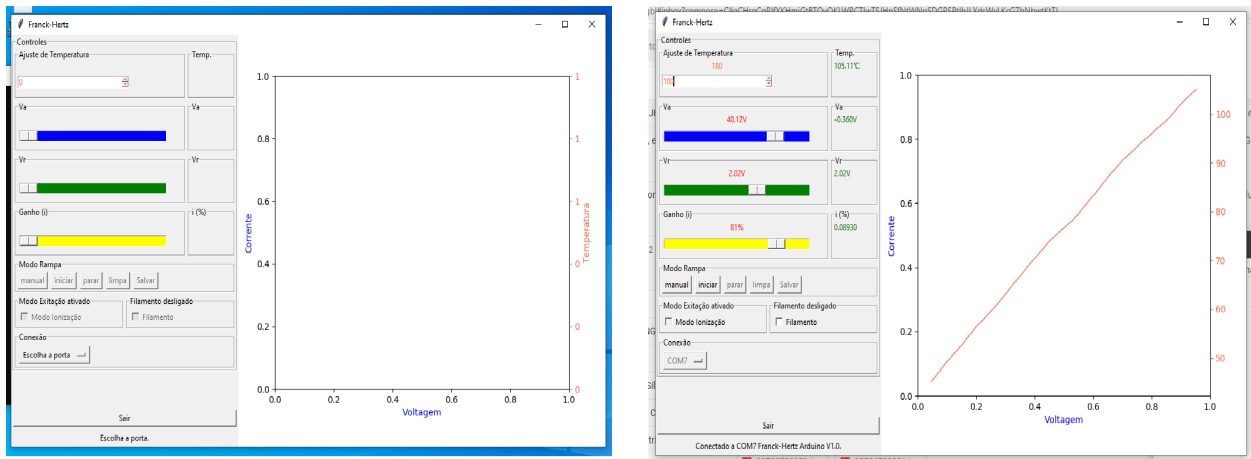


Figura 1.1: A esquerda, fotografia da tela do programa *FHLab* antes da configuração do sistema. A direita, fotografia da tela do programa *FHLab* depois da configuração do sistema.

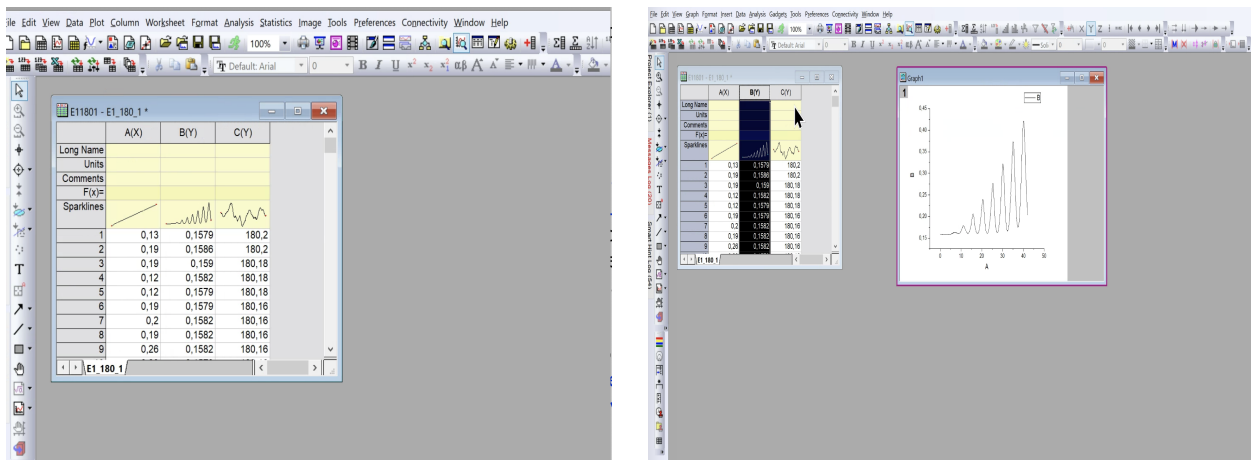


Figura 2.1: A esquerda, fotografia da tela do programa Origin após importação de dados. A direita, fotografia da tela do programa Origin com a tabela de dados e o gráfico da coluna.

## 2 Programa Origin

1. Carregue o programa *Origin* e faça a importação dos dados para o programa (veja o vídeo [Tratamento de dados](https://fap.if.usp.br/~jhsevero/Fisica_Experimental_C_Quadrimestral_2023/resources/Franck-Hertz/Videos/Tratamento-de-dados.mp4) ([https://fap.if.usp.br/~jhsevero/Fisica\\_Experimental\\_C\\_Quadrimestral\\_2023/resources/Franck-Hertz/Videos/Tratamento-de-dados.mp4](https://fap.if.usp.br/~jhsevero/Fisica_Experimental_C_Quadrimestral_2023/resources/Franck-Hertz/Videos/Tratamento-de-dados.mp4)) para ver a forma correta de importar e tratar os dados). Ao fazer a importação dos dados você deve observar uma tela como a mostrada nas Fig.2.1 (esquerda) e Fig.2.2 (direita).

## 3 Dados

1. Assista o vídeo [Tratamento dos Dados](https://fap.if.usp.br/~jhsevero/Fisica_Experimental_C_Quadrimestral_2023/resources/Franck-Hertz/Videos/Tratamento-de-dados.mp4) para ver a forma correta de tratar os dados: ([https://fap.if.usp.br/~jhsevero/Fisica\\_Experimental\\_C\\_Quadrimestral\\_2023/resources/Franck-Hertz/Videos/Tratamento-de-dados.mp4](https://fap.if.usp.br/~jhsevero/Fisica_Experimental_C_Quadrimestral_2023/resources/Franck-Hertz/Videos/Tratamento-de-dados.mp4)).

### 3.1 Tratamento de dados:

2. Faça um gráfico  $I(V_A)$  e enumere os picos corretamente como mostrado na Fig.3.1. O resultado da menor energia de excitação do Hg  $E_A$  dependerá da enumeração. Ao atribuir o índice  $n = 1, 2, \dots$  a cada um dos picos, você pode não ter sido capaz de ver o primeiro pico, mas usando a expressão  $n \leq VA/4$ , 86 você pode deduzir o valor correto para  $n$ . Lembre-se ainda que o primeiro pico deve aparecer para o

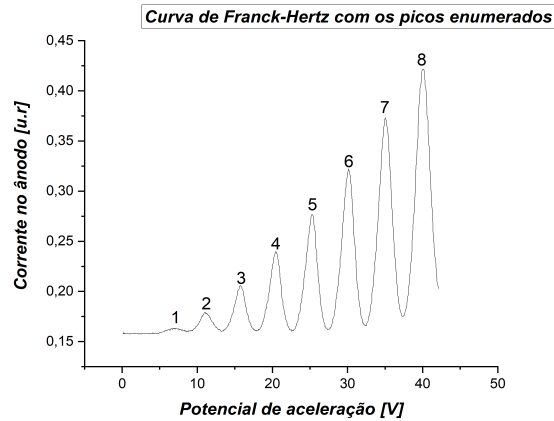


Figura 3.1: Gráfico do potencial de aceleração pela corrente no anodo com os picos enumerados.

potencial de aceleração da ordem de  $5 + 2 = 7V$  onde esse  $2V$  é devido a função trabalho do material do qual é feito o cátodo. Esse gráfico deve ir para o relatório.

### 3.2 Determinação da posição dos picos:

- Para determinar a posição dos picos e vales com precisão, primeiramente faça um ajuste parabólico na curva da Fig.3.1 para subtrair a tendência de crescimento. Com o resíduo do ajuste, faça um ajuste não linear gaussiano do tipo,  $y(x) = y_0 + \frac{A}{w(\sqrt{\pi/2})} \exp\left[-2\left(\frac{x-x_C}{w}\right)^2\right]$  em torno do pico ou vale. Neste caso, a posição do máximo será determinado pelo valor da variável  $x_C$  do ajuste. Aconselha-se que você assista o vídeo [Tratamento dos Dados](https://fap.if.usp.br/~jhsevero/Fisica_Experimentos/Franck-Hertz/Videos/Tratamento-de-dados.mp4) (([https://fap.if.usp.br/~jhsevero/Fisica\\_Experimentos/Franck-Hertz/Videos/Tratamento-de-dados.mp4](https://fap.if.usp.br/~jhsevero/Fisica_Experimentos/Franck-Hertz/Videos/Tratamento-de-dados.mp4))) antes de iniciar os ajustes.
- Faça uma tabela, como a representada abaixo (Tab.1), indicando a ordem dos picos, a posição dos máximos, a diferença de potencial entre máximos consecutivos e a incerteza. Repita essa mesma operação para os vales. Faça a tabela para as 2 aquisições e coloque os valores com apenas duas casas decimais.

Temperatura $(180,1 \pm 0,3)^{\circ}C$				Temperatura $(180,1 \pm 0,3)^{\circ}C$			
Ordem dos picos	Potencial associado ao pico [V]	Diferença de potencial entre os picos [V]	Incerteza [V]	Ordem dos vales	Potencial associado ao vale [V]	Diferença de potencial entre os picos [V]	Incerteza [V]
1	7,07	4,02	0,03	1	8,7	4,59	0,02
2	11,92	4,81	0,10	2	14,56	4,87	0,04
3	16,73	5,02	0,07	3	19,43	4,92	0,02
4	21,75	4,81	0,08	4	24,35	4,97	0,02
5	26,56	5,02	0,05	5	29,32	5,07	0,02
6	31,58	5,02	0,10	6	34,38	5,16	0,01
7	36,60			7	39,54		

Tabela 1- Potencial, diferença de potencial entre picos e vales consecutivos e incertezas associadas aos picos e vales para a primeira aquisição.

Temperatura $(180,1 \pm 0,3)^{\circ}C$				Temperatura $(180,1 \pm 0,3)^{\circ}C$			
Ordem dos picos	Potencial associado ao pico [V]	Diferença de potencial entre os picos [V]	Incerteza [V]	Ordem dos vales	Potencial associado ao vale [V]	Diferença de potencial entre os picos [V]	Incerteza [V]
1	7,07	4,02	0,03	1	8,7	4,59	0,02
2	11,92	4,81	0,10	2	14,56	4,87	0,04
3	16,73	5,02	0,07	3	19,43	4,92	0,02
4	21,75	4,81	0,08	4	24,35	4,97	0,02
5	26,56	5,02	0,05	5	29,32	5,07	0,02
6	31,58	5,02	0,10	6	34,38	5,16	0,01
7	36,60			7	39,54		

Tabela 2- Potencial, diferença de potencial entre picos e vales consecutivos e incertezas associadas aos picos e vales para a segunda aquisição.

5. Construa um gráfico da ordem dos picos pela diferença de energia entre dois picos consecutivos ( $\Delta E_n(n)$ ). Repita o gráfico para os vales. Faça isto para as 2 aquisições. Faça um ajuste linear dos pontos para cada caso (pico e vale), como mostrado nas Fig.3.2 e Fig.3.3 abaixo.

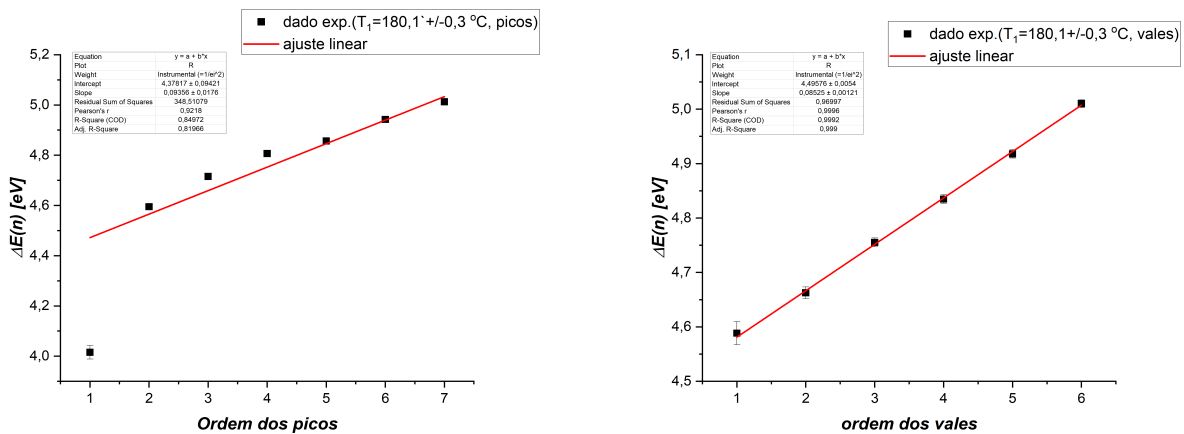


Figura 3.2: A esquerda, ajuste linear da diferença de energia entre dois picos consecutivos pela ordem dos picos referente a primeira aquisição. A direita, ajuste linear da diferença de energia entre dois vales consecutivos pela ordem dos vales referente a primeira aquisição.

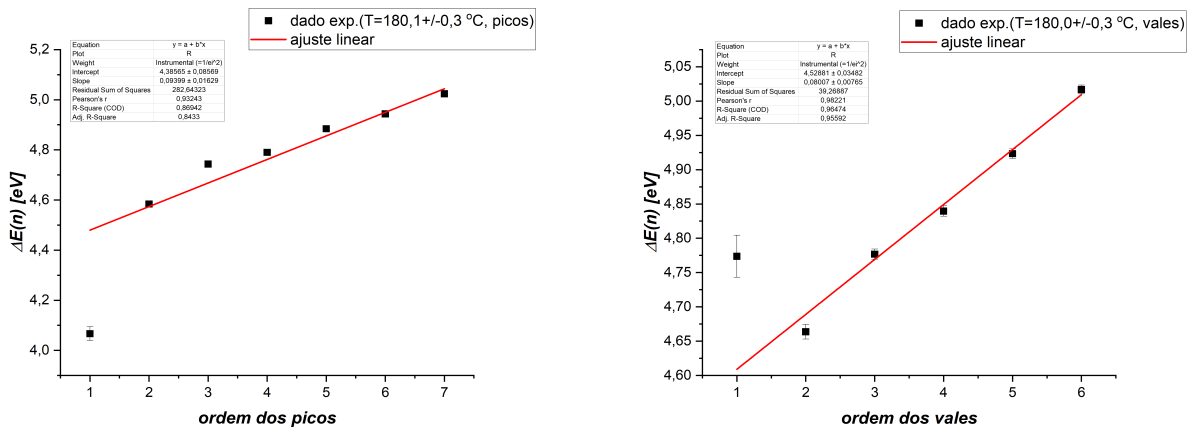


Figura 3.3: A esquerda, ajuste linear da diferença de energia entre dois picos consecutivos pela ordem dos picos referente a segunda aquisição. A direita, ajuste linear da diferença de energia entre dois vales consecutivos pela ordem dos vales referente a segunda aquisição.

6. A partir dos coeficientes das retas ajustadas para os picos e vales, determine a menor energia de excitação  $E_A$ , (caso tenha dúvidas de como calcular essa energia assista ao video 5D) o livre caminho médio  $\lambda$  e a seção de choque  $\sigma$ . Para calcular o livre caminho médio e a seção de choque, utilize o formulário que está logo abaixo:

7. Livre caminho médio:

$$\lambda = \frac{L}{2E_A} \frac{d}{dn} \Delta E(n),$$

onde  $L = 8 \text{ mm}$  é a distância entre o cátodo e a grade e  $\frac{d}{dn} \Delta E(n)$  é a inclinação da reta ajustada no gráfico acima.

8. Seção de choque:

$$\sigma = \frac{k_B T}{p \lambda}$$

9. Pressão:

$$p = 8,7 \cdot 10^{(10,5 - \frac{3110}{T})}$$

10. Coloque seus dados em uma tabela como a representada abaixo (Tab.3).

- **Obs:** não esqueça de colocar as incertezas na energia de excitação.

Temperatura [°C]	Energia de excitação (picos) [eV]	Energia de excitação (vales) [eV]	Livre caminho médio (picos) [m]	Seção de choque (picos) [m <sup>2</sup> ]	Livre caminho médio (vales) [m]	Seção de choque (vales) [m <sup>2</sup> ]
182 ± 5	4,55 ± 0,12	4,72 ± 0,03	(103,0).10 <sup>-6</sup>	(0,2).10 <sup>-20</sup>	(66,0).10 <sup>-6</sup>	(0,4).10 <sup>-20</sup>
182 ± 5	4,43 ± 0,09	4,72 ± 0,01	(84,7).10 <sup>-6</sup>	(0,3).10 <sup>-20</sup>	(68,3).10 <sup>-6</sup>	(0,1).10 <sup>-20</sup>

Tabela 3- Energia mínima de excitação, livre caminho médio e seção de choque para picos e vales, para as duas aquisições.

11. Calcule o valor médio das grandezas encontradas (energia, livre caminho médio e seção de choque) entre os picos e vales e os devidos desvios padrões. Insira os dados obtidos na Tab.4 como a representada abaixo. Coloque também o valor teórico esperado de cada grandeza.

- **Obs:** Os valores teóricos para as grandezas energia de excitação do mercúrio, livre caminho médio e seção de choque são os seguintes:

$$\begin{aligned}
 E_a &= 4,67\text{eV} \\
 \sigma_T &= 0,5 \cdot 10^{-20} \text{m}^2 \\
 \lambda &= \frac{k_B T}{p \cdot \sigma_T} = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} T}{8,7 \cdot 10^{(10,5 - 3110/T)} \cdot 0,5 \cdot 10^{-20}}
 \end{aligned}$$

onde  $T$  é a temperatura média entre todas as aquisições.

12. Calcule a incerteza no valor médio da energia de excitação pela média simples das incertezas das energias obtidas para os picos e vales nas 2 aquisições ( $\sigma_{E_A} = \frac{1}{n} [(\sigma_{E_A, P_1}) + (\sigma_{E_A, P_2}) + (\sigma_{E_A, V_1}) + (\sigma_{E_A, V_2})]$ ).
- **Obs:** Os valores médios e incertezas nos valores do livre caminho médio e seção de choque podem ser calculados no Origin da mesma forma que foi calculada a temperatura média e a sua incerteza.

Temperatura [°C]	Energia de excitação (valor médio) [eV]	Energia de excitação (valor esperado) [eV]	Livre caminho médio (valor médio) [m]	Livre caminho médio (valor esperado) [m]	Seção de choque (valor médio) [m <sup>2</sup> ]	Seção de choque (valor esperado) [m <sup>2</sup> ]
182 ± 5	4,64 ± 0,04	4,67	(85 ± 6) · 10 <sup>-6</sup>	31,078 · 10 <sup>-6</sup>	(0,22 ± 0,10) · 10 <sup>-20</sup>	0,5 · 10 <sup>-20</sup>

Tabela 4 - Valores médios e esperados para a energia mínima de excitação do mercúrio, livre caminho médio e seção de choque.