

Demasiado texto. Omissões experimentais
relevantes: mais escolha de pontos no gráfico 2 (-20)
Faltam estimar incertezas (-15)
Diminuir a quantidade de resíduos (-10)

2ª série - Diogo Morais - Grupo 8

65%

Trabalho 98 - Experiência de Franck-Hertz e determinação da energia de ionização do xénon

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.

Introdução da experiência: [inclui só notas para fazer experiência]

O elemento principal da montagem consiste numa válvula preenchida com o gás monoatômico xénon.

Nu propagação do feixe de elétrons ao longo da válvula poderá 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 eletrônicas entre níveis energéticos do xénon, dando origem a processos de:

- excitação (para nível + energético)
- ionização (liberta-se do átomo)

O que é a experiência de Franck-Hertz

comparado com a teoria de Bohr

Esta experiência foi a primeira a evidenciar de forma clara a natureza quântica da matéria. Mostrou que os espectros de excitação da matéria são caracterizados por linhas discretas.

Textos superfúos

Franck e Hertz propuseram uma experiência que permite verificar que:

- é possível excitar átomos por lambrdeamento 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 espectrometria.

Assim, temos um filamento à base de tungstênio aquece uma placa feita de um material adequado, designada por cátodo (fonte de elétrons, produzidos a um ritmo dependente da temperatura, diretamente proporcional). Os elétrons libertados são posteriormente acelerados pela diferença de potencial (vaca) existente entre o cátodo e a grelha de controle. Após a grelha de controle existe um eletrodo que retardará os elétrons. Para que os elétrons consigam atingir esta fase (o ânodo) necessitarão de uma energia superior à do campo elétrico entre GC e o ânodo (apenas os que têm mais energia chegam ao ânodo).

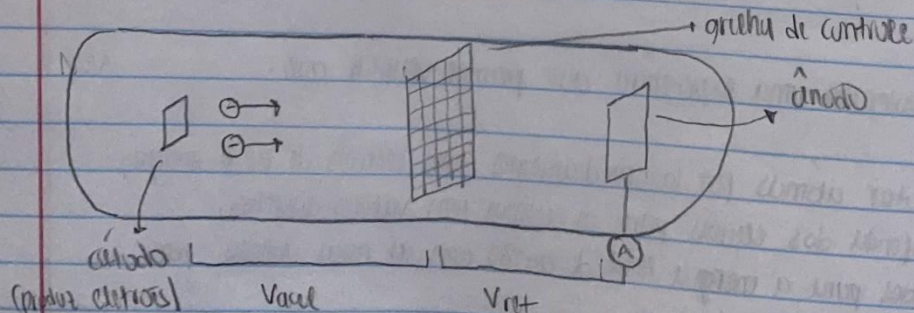
esquema da montagem mais em baixo.

Observações:

O mínimo observado corresponde à primeira energia de excitação do xenon (do estado $1s^2 \dots 5p^6$ para $1s^2 \dots 5p^5 6s^1$) cujo valor é $\approx 83 \text{ eV}$. Continuando a aumentar Vaca, os elétrons que perderam energia nos choques inelásticos voltam a ser acelerados até que possam ocasionar novas excitações dos átomos de xenon, podendo-se observar novos picos.

Em geral:

- temos na célula gás de xenon, que está em movimento, devido à agitação térmica
- os elétrons vão ser libertados no cátodo e acelerados em direção à grelha de controle, colidindo com o átomo de xenon na célula
- essa colisão pode ser elástica ou inelástica (elástica = elétron não transfere energia para o átomo, por isso, elétron não perde sua velocidade, apenas a sua direção, quando o elétron atinge o átomo com uma energia suficiente ele excita esse átomo de xenon para o 1º estado excitado, e por isso, uma colisão inelástica, transmite a sua energia para o átomo, perde a sua velocidade, não conseguindo alcançar a grelha nem o ânodo, tal como acontece na colisão elástica)

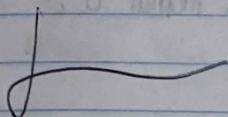


V_{aca} = tensão de aceleração; V_{ret} = tensão de retardação, provocada pelo ânodo

Não vale a pena repetir protocolo!

V_{acc} e V_{ret} são aplicados aos eletrodos

NOTA: O cátodo aquecido é uma fonte de elétrons, os quais são produzidos a um ritmo que depende da temperatura de aquecimento.



Procedimento experimental:

1º: Procedimento experimental - primeira energia de excitação de átomos de xenon.

- Montar o circuito;
- Selecionar a experiência 1 (EXPT1) no interruptor existente no painel da montagem;
- Regular a corrente de aquecimento para o valor máximo;
- Variar gradualmente o potencial acelerador (V_{acc}) e registrar a tensão, mas principalmente, a corrente elétrica que atravessa a válvula;
- Fazer um estudo gráfico dos resultados obtidos e determinar a primeira energia de excitação do átomo de xenon.

NOTA: A análise do gráfico obtido deve ser feita determinando o mínimo de $I(V_{acc})$ num intervalo em torno da energia de excitação prevista, usando um ajuste polinomial de segundo grau. Posteriormente, podemos determinar o valor mínimo da função através da derivação.

NOTA: Tal como referi anteriormente, são as colisões inelásticas entre os elétrons e o átomo de xenon que provocam a excitação desse átomo, caso a tensão de aceleração (V_{acc}) que estamos a variar for suficiente para fazer os elétrons ganharem energia cinética mínima, provocando por isso a excitação do xenon (ao absorver essa energia através da colisão).

mais teoria

Explicação para se verificar que o mínimo do gráfico representa a energia de excitação do xenon:

Após um elétron colidir inelasticamente com o xenon e provocar a excitação do átomo, o elétron obviamente perde energia. Se este já estiver perto do potencial de retardação, não consegue acelerar suficiente para chegar ao ânodo, e por isso, ter a

Isto não é um logbook.

seu energia registrada no amperímetro.

2º Procedimento experimental - ionização de átomos de xénon

- Apurar do vídeo, proceder às poucas alterações necessárias para montar a 2ª montagem;
- Selecionar a experiência 2 (EXPT 2);
- Regular a corrente de aquecimento para aproximadamente 0,46 A;
- Para vários valores de potencial acelerador, registrar a corrente que atravessa a válvula;
- Fazer um estudo gráfico dos resultados obtidos. Determinar o potencial de aceleração limiar e a primeira energia de ionização do xénon.

Aparelhos usados?

Escala utilizada: 20 V / 2 mA em todas as medidas

Medições - Aula - Experiência 1

Dados: 0,52 mA ; 0,3 V Acrescentamos mais dados entre mais ou menos 6V < V_{acel} < 10 V para determinar o mínimo de forma mais precisa.

V_{acel} (V)	I (mA)	V_{acel} (V)	I (mA)
-1,074	0,0030	5,563	0,3103
-0,042	0,013	6,352	0,2939
1,126	0,3159	6,018	0,2917
2,113	0,4335	6,433	0,2826
3,263	0,4614	6,769	0,2769
4,597	0,3666	7,046	0,2730
5,444	0,3155	7,333	0,2703
6,349	0,2817	7,796	0,2705
7,213	0,2639	8,149	0,2713
8,192	0,2631	8,514	0,2745
9,152	0,2921	9,027	0,2805
10,809	0,3101	9,300	0,2847
10,915	0,3746		

Podemos observar que até mais ou menos $V_{\text{cél}} \approx 4,6\text{V}$, à medida que vamos aumentando a tensão, a corrente também aumenta, durante $4,6\text{V} < V_{\text{cél}} < 7,8\text{V}$, a corrente diminui e volta a aumentar a partir desse ponto, tal como vemos observar com mais pormenor no gráfico mais em diante.

Medições - Avela - experiência 2

Dados: $0,46\text{mA}$ - corrente de aquecimento indicada

$V_{\text{cél}} (\text{V})$ $I (\text{mA})$

0,197	3,28
1,290	3,26
2,804	3,36
4,244	3,34
5,677	3,27
6,715	3,27
7,919	3,27
9,154	3,18
9,840	3,30
11,655	3,31
12,915	4,02
13,576	9,37
13,796	14,12
14,219	21,54
14,680	54,44
15,396	87,34
16,727	119,10
17,156	162,77
18,012	0,1982
19,435	0,2510
21,31	0,3278

escala: $200\mu\text{A}$

escala: 2mA

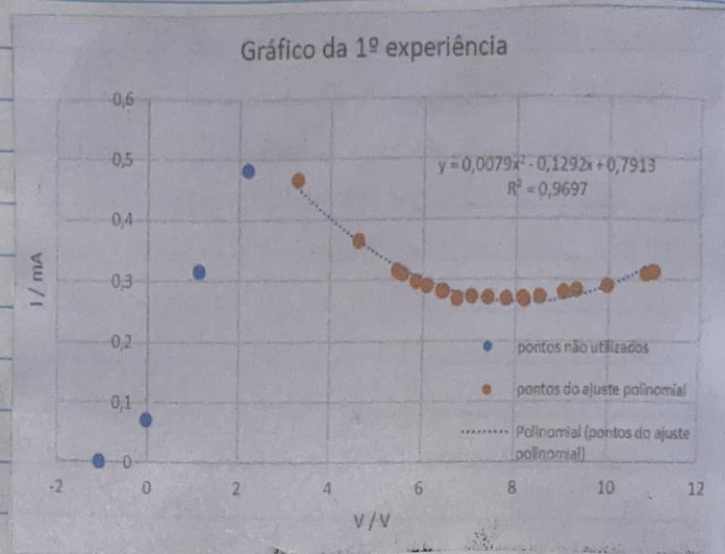
Podemos observar que, tal como expectável, no início, à medida que fomos aumentando a tensão, a corrente variava muito lentamente, até que a partir do valor $V_{\text{cél}} \approx 7,8\text{V}$, a corrente aumentou muito, tal como vemos ver no gráfico mais à frente.

9
escala: 20V em todas as
medidas, com excepção no último valor

Após as experiências da aula:

7ª experiência:

$V_{\text{anodo}} (V)$	$I (mA)$
-1,074	0,003
-0,042	0,0713
1,126	0,3159
2,173	0,4835
3,263	0,4674
4,591	0,3666
5,444	0,3155
5,563	0,3103
5,852	0,2989
6,078	0,2917
6,399	0,2817
6,433	0,2826
6,739	0,2705
7,046	0,273
7,388	0,2718
7,796	0,2705
8,149	0,2718
8,182	0,2687
8,514	0,2745
9,027	0,2805
9,3	0,2847
9,952	0,2921
10,809	0,3101
10,975	0,3146



Nesta pontos usados para ajuste polinomial foi a partir de $V_{\text{anodo}} = 3,263 \text{ V}$
 $I = 0,4674 \text{ mA}$

Equação de 2º grau: $f(u) = 0,0079u^2 - 0,1292u + 0,7913$

Determinando a sua derivada e o(s) zero(s) da sua derivada saberemos o mínimo da função:

Derivada: $f'(u) = 0,0158u - 0,1292$ e $f'(u) = 0,0158u - 0,1292$

$f'(u) = 0$ e $0,0158u - 0,1292 = 0$ e $0,0158u = 0,1292$ e $u = 8,1772$

$f(u) = 0,0079 \times (8,1772)^2 - 0,1292 \times 8,1772 + 0,7913 = 0,263 \text{ mA}$

Mínimo em $(8,177 \text{ V}; 0,263 \text{ mA})$

Sendo:

$E_{\text{excitacao}} = eV_{\text{anodo}} = 8,177 \text{ eV} \approx 8,2 \text{ eV}$

valor próximo do que
 foi apresentado no
 protocolo (8,3 eV)

incertezas?

explicação mais detalhada da 1ª experiência:

Através da montagem já explicada anteriormente, os elétrons acelerados dentro do gás de xênon vão colidir e dispersar-se. Podem ocorrer colisões elásticas, onde a perda de energia cinética é desprezível (conservação de energia e do momento linear), ou podem ocorrer colisões inelásticas, caso a energia cinética do elétron for igual ou superior à energia necessária para excitar um átomo de xênon. Com isso, o elétron transfere essa energia quantizada para o átomo de xênon, excitando-o. Assim, os elétrons que colidiram inelasticamente com o átomo não vão ter a energia suficiente para superar o potencial de retardação, e consequentemente, não chegam ao ânodo e não tem a sua energia registrada no amperímetro (curva decrescente).

Com isto, obviamente o mínimo de energia será correspondente ao momento em que o átomo de xênon se encontra excitado.

Posteriormente, continuando a aumentar o Vac, os elétrons que perderam energia quando do choque inelástico voltam a ser acelerados até que possam ocasionar novas excitações dos átomos de xênon, podendo-se observar novos picos (a nossa montagem só permite observar um pico).

Podemos determinar também:

⊖ Frequência da radiação liberada pelos átomos excitados quando regressam ao estado fundamental:

Sabemos que, pelo fato da energia ser quantizada, a energia necessária para excitar um átomo será a mesma emitida para regressar ao estado fundamental. Por isso:

$$E = hf \text{ e } 1,312 \times 10^{-18} = 6,63 \times 10^{-34} \times f \text{ e } f = 1,98 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

$$E \approx 82 \text{ eV}, e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ e } E = 82 \times 1,6 \times 10^{-19} = 1,312 \times 10^{-18} \text{ J}$$

A radiação estará entre o espectro da radiação ultravioleta e raios-X.

⊖ velocidade dos elétrons quando ocorre a primeira energia de excitação:

sabemos que $E_{excitacao} = E_{cinetica}$ dos elétrons antes da colisão e

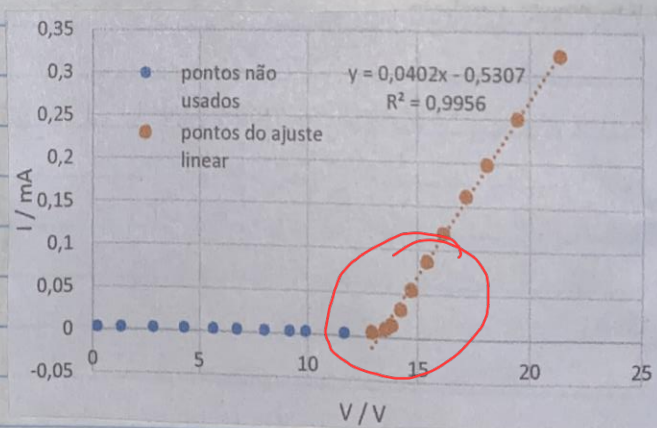
e $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ e considerando $m_e = 9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$ e $1,312 \times 10^{-18} = \frac{1}{2} \times 9,109 \times 10^{-31} \times v^2$

e $v = \sqrt{2,981 \times 10^{17}} = 1,7 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$

Incerteza na determinação do mínimo?

2ª experiência - determinação da energia de ionização do átomo de xénon.

V (V)	I (mA)
0,191	0,00328
1,29	0,00326
2,804	0,00336
4,244	0,00334
5,617	0,00327
6,715	0,00327
7,979	0,00327
9,154	0,00328
9,87	0,0033
11,655	0,00331
12,915	0,00482
13,516	0,00937
13,796	0,01412
14,219	0,03159
14,68	0,05444
15,396	0,08734
16,127	0,11918
17,156	0,16211
18,072	0,1982
19,435	0,251
21,31	0,3228



Ajuste linear	
0,040156	-0,53068
0,00089	0,014462
0,995603	0,007518

pontos mal escolhidos

Nesta experiência, aumentando sucessivamente o valor do potencial de aceleração (vale a energia cinética dos elétrons do feixe acelerado por ser igual ou superior à energia de ionização do átomo do xénon (capturado = um dos elétrons de valência é libertado da influência do núcleo).

O gráfico atrás mostra o comportamento experimental da corrente em função do potencial de aceleração. Sabe-se que a corrente é praticamente nula para valores de V_{acel} baixos, porém a partir de um certo valor de V_{acel} a corrente varia linearmente, correspondendo à energia relativa ao primeiro nível de ionização.

$$equação: y = 0,040156x - 0,53068 \text{ e } I = 0,040156 V_{acel} - 0,53068$$

A energia de ionização obtém-se resolvendo a equação de cima com $I=0$, isto porque a energia que o elétron ficará após se libertar do átomo será nula (já não tem ligação com o núcleo do átomo de xénon);

$$I = 0,040156 V_{acel} - 0,53068 \text{ e } 0 = 0,040156 V_{acel} - 0,53068 \text{ e}$$

$$\text{e } V_{acel} = \frac{0,53068}{0,040156} \approx 13,22 \approx 13,2 \text{ V}$$

$$E_{ionização} = e V_{acel} = 13,2 \text{ eV} \quad \text{proximo ao valor apresentado no protocolo (12 eV)}$$

⊖ Frequência da energia de ionização

Valor conhecido
ver referência e
há indica valor do protocolo
apenas

$$E = hf \text{ e } 2,112 \times 10^{-18} = 6,63 \times 10^{-34} \times f \text{ e } f = 3,19 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

$$\text{Sendo } E = 13,2 \text{ eV}, e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ e } E = 2,112 \times 10^{-18} \text{ J}$$

A radiação estará entre o espectro da radiação ultravioleta e raio-x.

⊖ Velocidade dos elétrons quando ocorre a ionização:

$$E = E_{cinética} \text{ (elétrons)} \text{ e } 2,112 \times 10^{-18} = \frac{1}{2} m v_{elétrons}^2 \text{ e } v = 2,15 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$$

A conclusão é pare só. Não pare
conclusão: um livro.

Nesta experiência cumprimos com o objetivo experimental principal, determinar a primeira energia de excitação dos átomos de xênon e a energia necessária para ionizar esse mesmo átomo.

Principalmente, abordei a maneira que funcionava esta experiência e principalmente de que forma, teoricamente, acontece a determinação do processo de excitação e ionização dos átomos de xênon que se encontravam como gás dentro da válvula.

Expliquei o porquê da variação observada no gráfico obtido, que tinha relação com o aumento de energia dos elétrons, provocado pelo aumento do potencial de aceleração que nós produzimos as colisões inelásticas, responsáveis pela emissão da energia para os átomos de xênon.

Assim, através da simulação da experiência feita por Franck e Hertz observou-se a quantização dos níveis de energia do átomo de xênon, corroborando a teoria elaborada por Bohr, analisando gráficos de corrente elétrica em função da tensão, que tem comportamento explicado pelas teorias clássicas (colisões) e quântica (transição de Bohr).

Ficou claramente explicada a dependência da corrente elétrica com o tipo de interação que ocorre entre elétrons e o xênon que gamela dentro da válvula. Quando a corrente cai é sinal que ocorreu a excitação do átomo através de colisões inelásticas, tal como explicado ao longo do logbook.

Nesta experiência, apenas se aumentou sucessivamente o valor do potencial de aceleração até que a energia cinética dos elétrons acaba por ser igual ou superior à energia de ionização dos átomos de xênon.

Gráfico de resíduos (1ª Exp.)

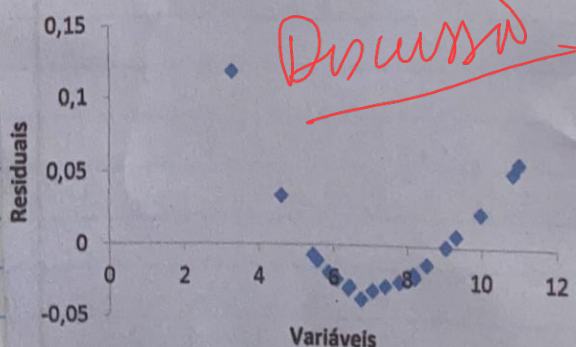
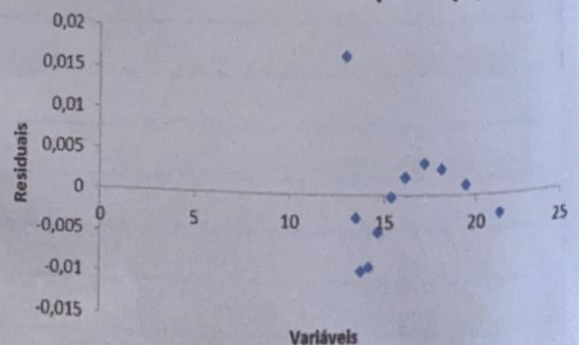


Gráfico de resíduos (2ª Exp.)



Isto não é para condensar.