

ROTEIRO P/ SIMULAÇÃO: DIFRAÇÃO DE ELÉTRONS

Prof. Nildo Loiola Dias

1 OBJETIVOS

- Verificar experimentalmente a formação de anéis de difração de elétrons.
- Determinar o espaçamento interplanar da grafita a partir do diâmetro dos anéis de difração observados.

2 MATERIAL

- Filme mostrando o experimento real sendo realizado:

https://www.youtube.com/watch?v=W_Q47GIQp5Y

- Link para a simulação:

www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/difracao-de-eletrons

3 FUNDAMENTOS

De acordo com a equação de De Broglie, o comprimento de onda do elétron depende do momentum:

$$\lambda = h/p \quad (1)$$

onde $h = 6,625 \times 10^{-34} \text{Js}$, é a constante de Planck.

O momentum pode ser calculado da velocidade que o elétron adquire ao se acelerar numa diferença de potencial U_A :

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m} = eU_A \quad (2)$$

O comprimento de onda é então:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU_A}} \quad (3)$$

Onde $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{C}$ (a carga do elétron) e $m = 9,109 \times 10^{-31} \text{kg}$ (a massa de repouso do elétron).

Para os valores usados de U_A , a massa relativística do elétron pode ser substituída pela massa de repouso com um erro de apenas 0,5%.

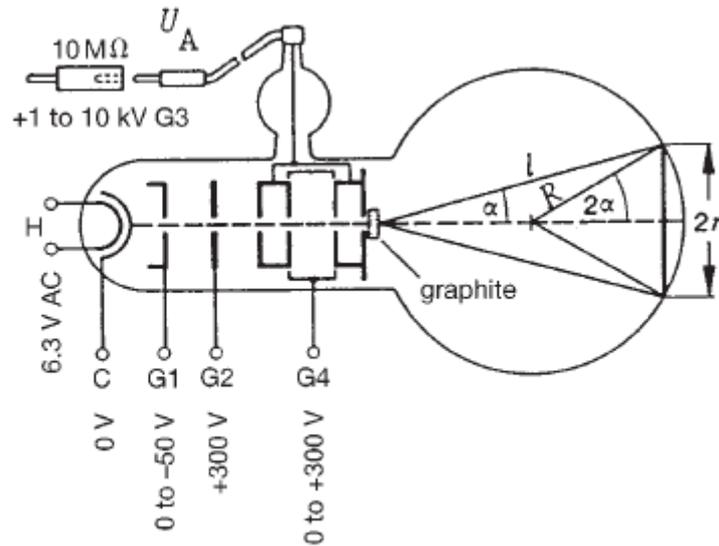
O feixe de elétrons atinge o filme de grafita policristalina, depositado numa grade de cobre, e é então refletido de acordo com a condição de Bragg:

$$2d\sin\theta = n\lambda, \quad n = 1, 2, \dots \quad (4)$$

onde d é a distância entre os planos dos átomos de carbono da grafita e θ é o ângulo de Bragg (ângulo entre o feixe de elétrons e os planos da rede cristalina).

Na grafita policristalina, as ligações entre as camadas individuais são quebradas, desta forma suas orientações ficam distribuídas ao acaso. O feixe de elétrons é então espalhado na forma de um cone e produz anéis de difração no anteparo fluorescente, Figura 1.

Figura 1: Tubo de difração de elétrons.



O ângulo de Bragg pode ser calculado do raio dos anéis de difração, mas deve ser lembrado que o ângulo de desvio α , Figura 1, é duas vezes maior:

$$\alpha = 2\theta \quad (5)$$

Da Figura 7.1, temos:

$$\text{sen}2\alpha = \frac{r}{R} \quad (6)$$

Onde $R = 65\text{mm}$, é o raio do bulbo de vidro, e r é o raio do anel de difração.

Como $\text{sen}2\alpha = 2\text{sen}\alpha.\text{cos}\alpha$ e para pequenos ângulos α , $\text{cos}\alpha \cong 1$, temos:

$$\text{sen}2\alpha \cong 2\text{sen}\alpha = 2(\text{sen}2\theta) = 2(2\text{sen}\theta) = 4\text{sen}\theta = \quad (7)$$

De tal forma que para pequenos ângulos θ :

$$\text{sen}\alpha = \text{sen}2\theta \cong 2\text{sen}\theta \quad (8)$$

Com esta aproximação obtemos:

$$r = \frac{2R}{d}n\lambda \quad (9)$$

Então, do gráfico de r versus λ é possível se determinar a distância interplanar d , da grafita.

Na Figura 2 podemos ver a representação da estrutura da grafita (esquerda) e a separação entre alguns planos (direita). A Tabela 1 nos dá as distâncias interplanares da grafita como mostrado na Figura 2.

Figura 2. Representação da estrutura da grafita (esquerda) e a separação entre os planos (direita).

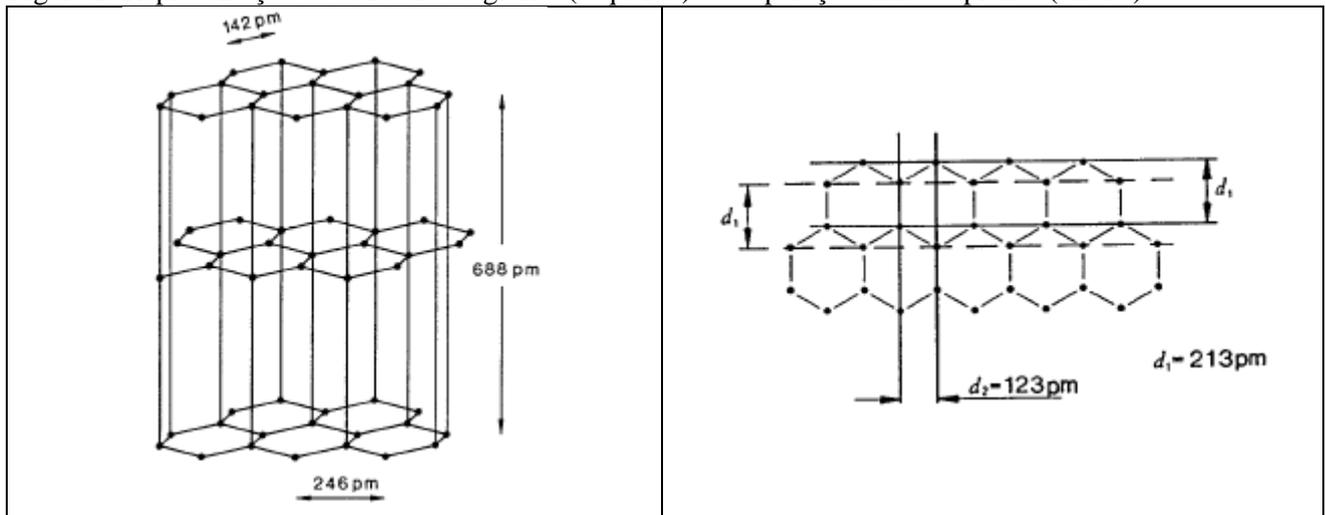


Tabela 1. Distâncias interplanares da grafita.

d_1 (pm)	213
d_2 (pm)	123
d_3 (pm)	80,5
d_4 (pm)	59,1
d_5 (pm)	46,5

4 PROCEDIMENTO

Na Figura 3 está mostrado o equipamento real disponível no laboratório de Física Moderna da UFC para a realização do experimento de Difração de Elétrons. Na figura podemos ver à esquerda a Fonte de Alta Tensão para aceleração dos elétrons. À direita uma Fonte Múltipla. Essa fonte fornece 6,3 Vac para aquecimento do filamento gerador de elétrons pelo efeito Joule e potenciais para colimação do feixe de elétrons. No centro temos o tubo de difração de elétrons.

Figura 3: Arranjo experimental para a difração de elétrons.



Na simulação **Difração de Elétrons**, Figura 4, estão representados: a Fonte de Alta Tensão, uma Fonte de 6,3 Vac (as saídas da Fonte Múltipla para colimação do feixe de elétrons não estão representadas na simulação, pois não são essenciais para os resultados), o tudo de Difração de Elétrons (uma visão frontal do

globo de vidro onde os círculos de difração (interferência) de elétrons são formados) e uma régua. No experimento real os raios são medidos com um paquímetro, na simulação será utilizada uma régua que pode ser arrastada para a posição desejada. No experimento real os anéis são espessos, necessitando a medida do raio interno e externo de cada anel, para determinar o raio médio. Na simulação os anéis estão representados por círculos bem definidos, facilitando a determinação de seus raios.

Figura 4. Aparência da Simulação após ligar a “Fonte de 6,3 Vac”, ajustar a “Fonte de Alta Tensão” em 4,8 kV e reposicionar a régua.



Para a realização do “experimento” virtual, acesse o link:
www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/difracao-de-eletrons

- 1- Ligue a Fonte de 6,3 Vac.
- 2- Regule na Fonte de Alta Tensão o valor de U_A em 4,00kV, meça o diâmetro do círculo interno, D_{interno} e diâmetro do círculo externo, D_{externo} , dos anéis e anote nas Tabelas 2 e 3.
- 3- Repita o procedimento anterior para os outros potenciais indicados.
- 4- Calcule o comprimento de onda para cada diferença de potencial indicado, de acordo com a Equação 3 e anote nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Resultados “experimentais” para o anel interior.

U_A (kV)	λ (pm)	Diâmetro (cm)	r_{int} (cm)
4,00			
4,50			
5,00			
5,50			
6,50			
7,00			
7,50			
8,00			

Tabela 3. Resultados “experimentais” para o anel exterior.

U_A (kV)	λ (pm)	Diâmetro (cm)	r_{ext} (cm)
4,00			
4,50			
5,00			
5,50			
6,50			
7,00			
7,50			
8,00			

5 QUESTIONÁRIO

- 1- Faça os gráficos de r_{interno} e r_{externo} versus λ de acordo com os valores das Tabelas 2 e 3.
- 2- Pelo gráfico da questão anterior, determine as distâncias interplanares d_1 e d_2 da grafita.
- 3- Se um elétron em repouso é acelerado numa diferença de potencial U_A de 5,50 kV, qual a velocidade final que o mesmo adquire e qual o comprimento de onda associado a este elétron?
- 4- Um feixe de Raios X, contendo comprimentos de onda desde 95,0 pm até 140 pm, incide sobre uma família de planos refletor espaçados por $d = 275$ pm, como mostra a Figura 7.5. O feixe de Raios X, semelhantemente a um feixe de elétrons, apresenta máximos de intensidade de acordo com a equação de Bragg (Eq. 7.4). Determine os dois comprimentos de onda e as ordens correspondentes para os quais haverá máximos de intensidade.

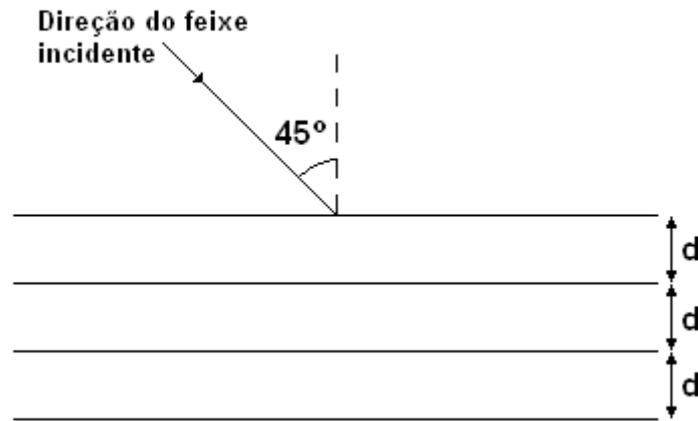


Figura 5. Diagrama para a questão 4.