Difração de elétrons

Mateus Mendonça Ramos Simões 10818477

RESUMO: Usando um tubo emissor elétrons por efeito termiônico estudou-se a difração de elétrons em uma rede hexagonal do grafite. Observa-se o padrão circular da difração chegando a razão $d_A/d_B = 1,763$, 1,79% maior que o esperado. Foi possível estudar o princípio da incerteza de Heisenberg.

1- INTRODUÇÃO

Maurice de Broglie, físico experimental francês, sempre apoiou Compton e sua teoria corpuscular da radiação. Louis de Broglie, irmão do primeiro, se impressionou tanto com o assunto que passou da história para a física e, em 1924, propôs em sua tese de doutorado a existência da onda de matéria. O comprimento dessa onda está ligado ao momento da partícula pela relação de de Broglie $\lambda = h/p$. [1]

Experimentos mostram que o comprimento de onda de um feixe de elétrons é da ordem de angstrons, dependendo da energia. Quando esse feixe passa por uma fenda de tamanho "a" onde $\lambda/a \approx 1$, efeitos de difração são observados. [1]

Para se ter acesso a essa dimensão, faz-se o feixe difratar por reflexão em planos atômicos de um cristal. Os padrões de interferência seguem a relação de Bragg dada por $n\lambda = 2d\,\text{sen}\,\theta$, que pode ser obtida do esquema na Figura 1. [1]

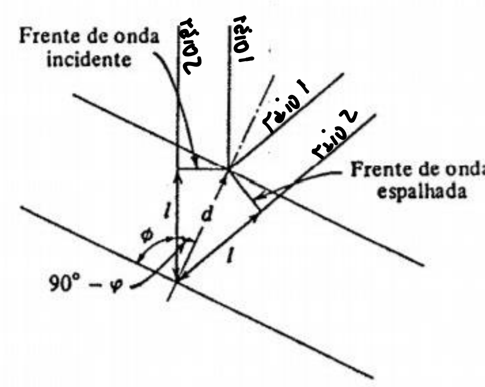

Fig 1. Derivação da Lei de Bragg

Observando a Fig 1 que mostra dois planos atômicos e dois raios dos feixe incidente e refletido. Se um número inteiro de comprimento $n\lambda$ se ajusta exatamente na distância $2l$, haverá interferência construtiva e haverá um máximo para tal angulo ϕ. Da trigonometria, $l = d\cos(90° - \varphi) = d \sin\phi$. Para que haja interferência construtiva, $2l = n\lambda$ e portanto, chega-se na relação de Bragg $2d\sin\phi = n\lambda$. O índice 2 surge do caminho óptico maior que o raio 2 tem que percorrer a mais que o raio 1 a fim de que ocorra interferência construtiva. [1,2,3]

O objetivo desse experimento estudar o fenômeno da difração de elétrons empregando-o para determinar o espaçamento interatômico de um cristal de grafite.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

Usou-se um tubo TEL2555 que produz um feixe estreito de elétrons por efeito termiônico. O feixe é direcionado para uma grade composta por uma fina camada de grafite. Ocorre a difração do feixe e o efeito pode ser visto na tela fosforecente, depositada no fundo do bulbo, onde aparecem dois aneis de difração.

O esquema da montagem pode ser visto na figura 2

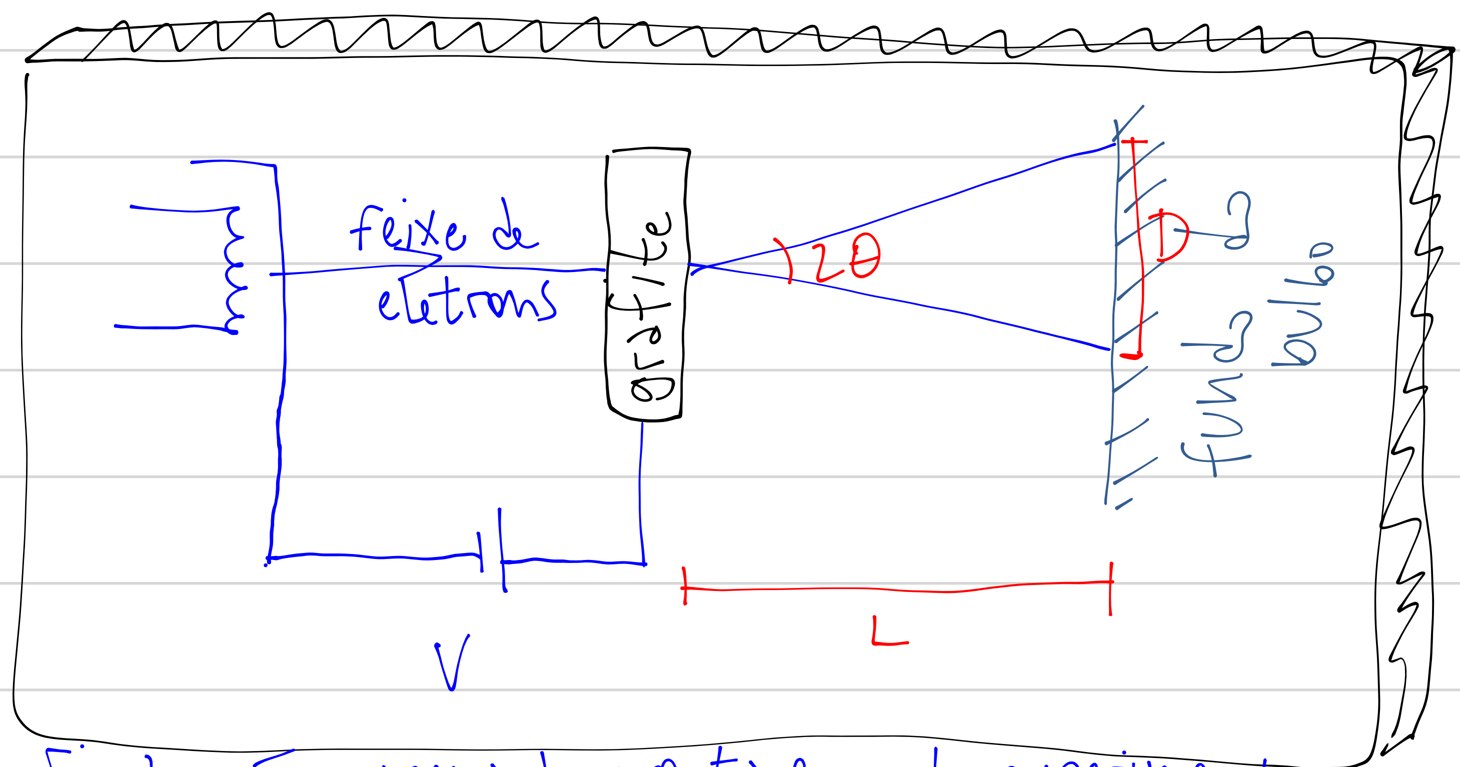

Fig 2 - Esquema de montagem do experimento

Na Figura 2, V é a tensão aplicada para acelerar os elétrons, L é a distância entre a grade e o anteparo e D é o diâmetro do feixe difratado. A distância L foi estimada em (130 ± 1) mm. Foram usados quatro valores de tensão (2,5kV, 3,0kV, 3,5kV e 4,0kV). Essa tensão não justifica o uso da relatividade pois ao se igualar as energias elétrica e cinética ($eV = mv^2/2$) chega-se a uma velocidade de $3{,}75 \cdot 10^7$ m/s para 4,0kV, ou seja, uma ordem de grandeza menor que "c". Foram feitas seis medidas de diâmetro para 4kV e 3,5kV, e três medidas para 2,5kV e 3,0kV, sendo calculada a média e o desvio padrão para cada medida de diâmetro.

Para se obter a equação do ajuste foram necessárias duas etapas. Na primeira, igualou-se as energias elétrica e cinética substituindo o momento linear pelo momento dado na relação de de Broglie chegando em

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2me}} V^{-1/2} \qquad (1)$$

Na segunda etapa, observando a Fig. 2, as aproximações para pequenos ângulos e a relação de Bragg, chegou-se a expressão

$$\lambda = d\,\frac{D}{2L} \qquad (2)$$

Igualando as eqs. 1 e 2, obtem-se a eq3 que foi usada no ajuste para se estimar d.

$$D = \frac{2hL/\sqrt{2me}}{d}\, V^{-1/2} \qquad (3)$$

A estrutura de um cristal de grafite é formada por camadas planares de carbono cujo interior adota um arranjo hexagonal. Nessas camadas os carbonos estão ligados covalentemente distantes 2,46 Å um do outro. Já as camadas estão ligadas por forças de Van der Waals e distam 3,40 Å um do outro. A Figura 3 mostra o arranjo cristalino do grafite e a família de planos A e B. [4]

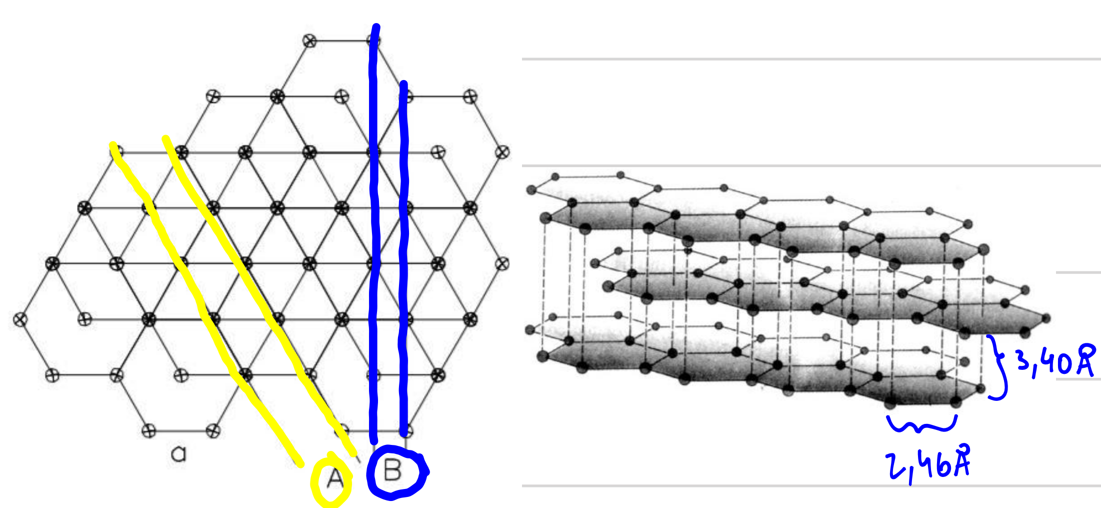

Fig3 - Arranjo cristalino do grafite.

Da geometria, é possível verificar que $d_A = \frac{a\sqrt{3}}{2}$ e $d_B = a/2$ sendo $d_A = 2{,}13$ Å e $d_B = 1{,}23$ Å sendo estes os valores esperados para se estimar do ajuste da Eq3. [5]

A hipótese de que a estrutura cristalina do grafite se aproxima de um arranjo cúbico é falsa, pois neste caso não apresentaria dois padrões de difração, mas somente um. Caso esses dois padrões de difração se tratassem de ordens diferentes para o mesmo padrão, a razão d_A/d_B seria 2 e não $\sqrt{3} \approx 1{,}73$.

O padrão circular observado não significa que existam orifícios circulares na estrutura cristalina, mas sim do modo como a difração ocorre em seu interior. Uma linha reta de átomos regularmente espaçados é chamada rede linear. Considere um feixe paralelo incida em uma linha de átomos com ângulo Δ. Todos os átomos atuam como centros de dispersão e átomos ao lado do centro de dispersão funcionam como reforços para a onda difratada. Uma dessas direções corresponde à interferência construtiva no ângulo ε. Então, o feixe espalhado por um átomo na posição D deve estar em fase com aquele posicionado em G imediatamente ao seu lado e o caminho óptico difere por $n\lambda$. Obviamente, isso ocorre em todas as direções com outras redes lineares resultando em cones concêntricos. Esse fenômeno está ilustrado na Figura 4. [6]

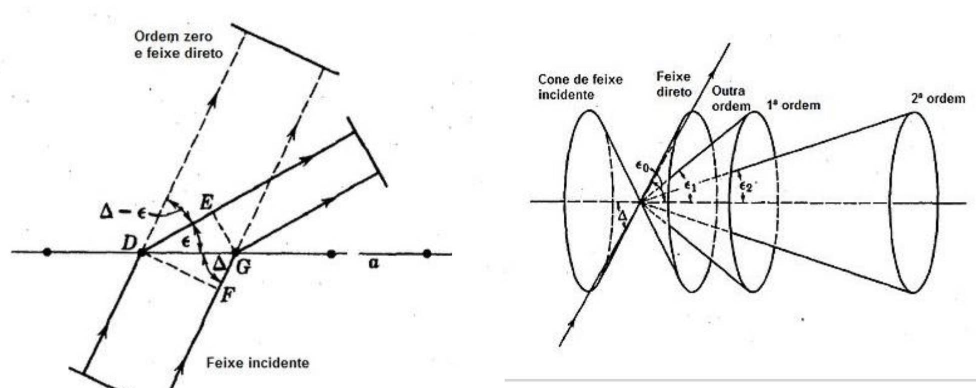

Fig 4. Representação dos cones de difração.

3- RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 5 mostra os dados para variação do diâmetro dos padrões de difração em função da tensão com a Eq. 3 ajustada aos dados.

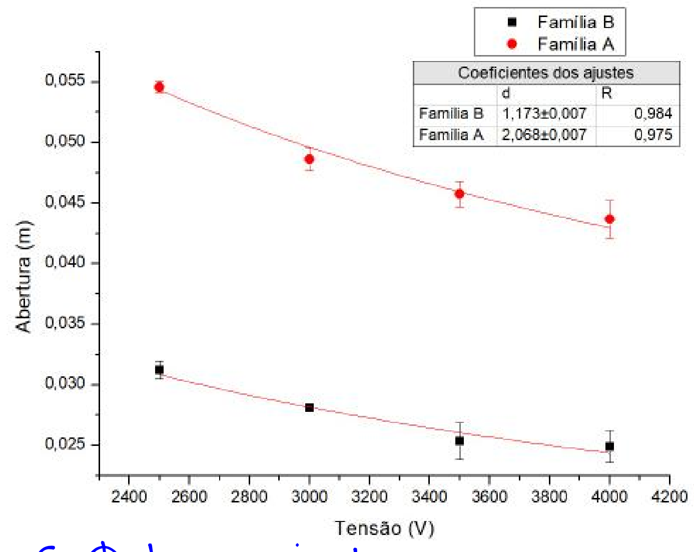

Fig 5. Dados e ajuste.

Do ajuste, estimou-se $d_A = (2,068 \pm 0,007)$ Å e para $d_B = (1,173 \pm 0,007)$ Å sendo a razão $d_A/d_B = 1,763$ sendo 1,79% maior que o esperado de $\sqrt{3} \approx 1,732$. Este valor é bem distante para o que seria esperado se fosse aproximar essa estrutura cristalina por um cubo (12% menor). Portanto, é uma aproximação errônea. Foi observado o padrão circular de acordo com o que foi discutido na seção anterior.

Pelo princípio da incerteza $\Delta p_y \Delta Y \geq \hbar/2$. Para este experimento $\Delta P = P_f - P_0 = P_f = \sqrt{2 m_e V} = 3,417 \cdot 10^{-23}$ e $\Delta Y = d_A$ ou $\Delta Y = d_B$, portanto, $\Delta Y \approx 10^{-10}$, resultando em $\Delta P \Delta Y = 3,4 \cdot 10^{-33}$, de acordo com o princípio da incerteza.

4- CONCLUSÃO

Este experimento permitiu verificar a estrutura hexagonal do grafite com $d_A/d_B = 1,763$, próximo ao esperado de de $\sqrt{3} \approx 1{,}732$. Este experimento permitiu verificar a validade do princípio da incerteza com $\Delta p \Delta y \approx 10^{-33} > \hbar/2$.

5 - REFERÊNCIAS

[1] EISBERG; "Física Quântica". 1ed. 1979

[2] TIPLER; "Modern Physics". 6 ed. 2012

[3] BEISER; "Concepts of Modern Physics". 6 ed. 2003

[4] "Capítulo 3: Estruturas cristalinas e geometria dos cristais"

[5] "Difração de elétrons" Disponível em: <www.labdid.if.usp.br>. Acesso em 10 out. 2020.

[6] KLUG, H.; ALEXANDER, L.; "X-Ray Diffraction Procedures." New York: John Wiley & Sons, pp 120-187, 1974