

DIFRAÇÃO DE ELÉTRONS

I- Introdução

No ano de 1924 de Broglie propôs, em sua tese de doutorado, a existência de onda de matéria. Sua idéia era que o comportamento dual onda-partícula, característico das radiações eletromagnéticas, também se aplicava à matéria. Dessa forma, assim como o fóton tem associado a ele uma onda, às partículas materiais (por ex. o elétron) estaria associada uma onda de matéria.

De acordo com de Broglie, pode-se associar um comprimento de onda λ a um feixe monoenergético de partículas (onda monocromática de matéria); ou equivalente a seu momentum p através da relação.

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \quad (1)$$

Davisson, Germer e Thompson confirmaram experimentalmente, em 1926, o caráter ondulatório do elétron, observando difração ao incidirem um feixe de elétrons com energia apropriada sobre uma rede cristalina. Os átomos do cristal agem como um arranjo periódico tridimensional de centros de difração para a onda de elétrons incidente, espalhando fortemente os elétrons em certas direções características, exatamente como na difração de raios-X.

Em 1927, G. P. Thompson verificou experimentalmente a difração de feixes de elétrons ao passar através de filmes finos, e confirmou detalhadamente a relação de de Broglie $\lambda = h/p$. A experiência de Thompson é semelhante à de Debye-Hull-Scherrer para a difração de raios-X por uma substância cristalina pulverizada.

II- Aparelhagem

1 tubo de difração de elétrons Leybold
1 suporte do tubo
1 fonte de alta tensão de até 10 kV (5+5kV)
1 fonte de alimentação do filamento 6,38V (AC), 300mA
1 interruptor bipolar
2 amperímetros
fios

III- Descrição do sistema

Os elétrons (massa m e carga e) são emitidos de um cátodo incandescente e acelerados por um potencial V , de onde é possível determinar sua velocidade v por conservação de energia:

$$\frac{1}{2}mv^2 = eV \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2eV}{m}} \quad (2)$$

Substituindo (2) em (1) obtemos o comprimento de onda associado ao elétron:

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

Com valores das constantes:

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

e sendo V medido em Volts, o comprimento de onda do elétron será simplesmente

$$\lambda = \sqrt{\frac{150}{V}} \text{ \AA} \quad (4)$$

Para as voltagens utilizadas, a massa relativística pode ser substituída pela massa em repouso, com um erro de somente 0,5%.

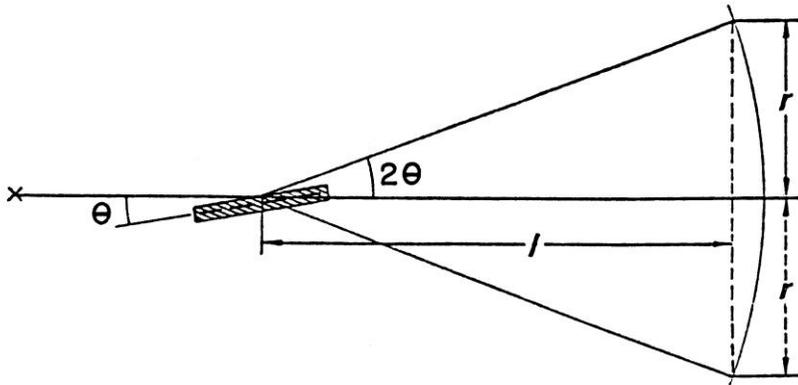


Figura 1: Representação esquemática da difração.

Seja um feixe de elétrons incidindo sobre uma rede cristalina, conforme mostra a figura 1, onde r é o raio de um anel de interferência. A rede cristalina é análoga ao mostrado na figura 2 e Θ é o ângulo de incidência do feixe eletrônico.

Pela Lei de Bragg:

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (5)$$

Onde d é a distância interplanar da rede cristalina e λ o comprimento de onda associado ao feixe de elétrons. Da fig. 1 verificar-se que

$$\tan 2\theta = \frac{r}{l} \quad (6)$$

Para Θ pequeno, podemos fazer

$$2\sin\theta = \frac{r}{l} \quad (7)$$

Relacionando (7) com (5) obtém-se, para $n = 1$:

$$\lambda = \frac{rd}{l} \quad (8)$$

Assim, conhecido o comprimento de onda λ , fica possível determinar as várias distâncias interplanares da rede cristalina.

A presente prática faz uso de um policristal de grafite, cuja estrutura cristalina está representada na figura 2, onde também é observado que o cristal é formado por células cristalinas hexagonais:

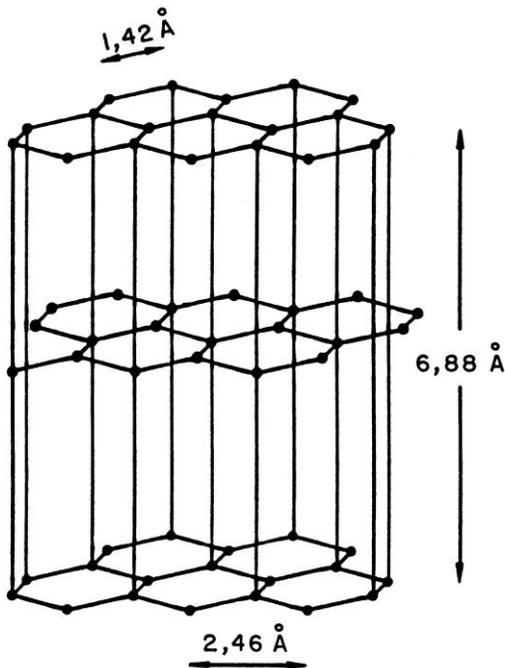


Figura 2: Cristal de grafite

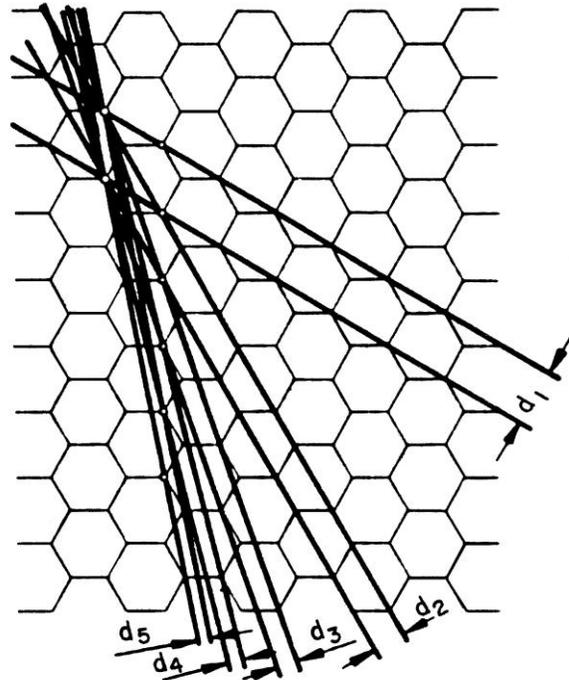


Figura 3: Distância interplanares

No grafite, cada átomo de carbono é ligado covalentemente a outros 3 átomos de carbono, num plano, formando hexágonos em um conjunto de placas infinitas que estão interligadas por forças de Van der Waals formando um arranjo tri-dimensional de átomos. Existem várias distâncias características, conforme se vê na figura 3, correspondendo a possíveis planos de reflexão e conseqüentemente, originando anéis de interferência distintos. As principais são:

$$\begin{aligned} d_1 &= 2,13 \text{ \AA} \\ d_2 &= 1,23 \text{ \AA} \\ d_3 &= 0,805 \text{ \AA} \\ d_4 &= 0,591 \text{ \AA} \\ d_5 &= 0,465 \text{ \AA} \end{aligned}$$

IV- Procedimento

A montagem experimental está esquematizada na figura 4.

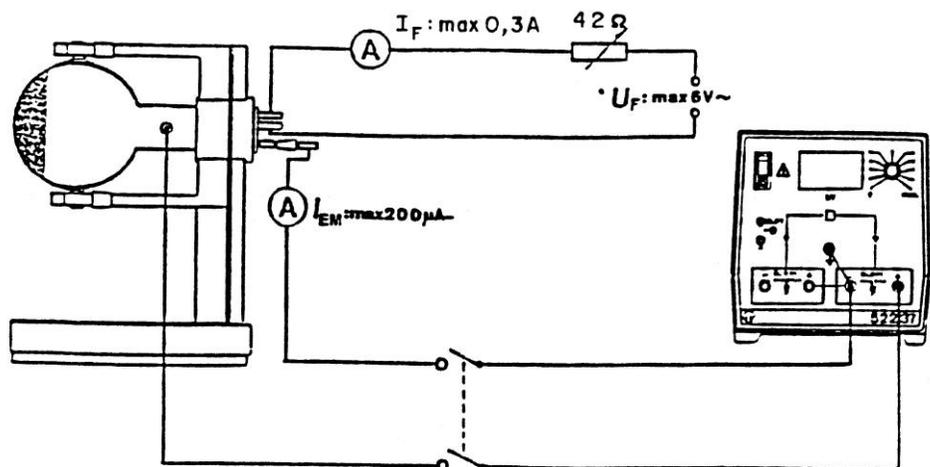


Figura 4: Montagem experimental.

Ligue o equipamento certificando-se que a corrente no filamento seja de no máximo 300mA, a aproximadamente 6 V. **A corrente de emissão não deve ultrapassar a marca de 200 μ A.** Se, por algum motivo, esta corrente se elevar, ou você notar um clarão na ampola (sistema curto-circuitado), diminua imediatamente a voltagem para zero e espere de 20 a 30 minutos para recomençar o experimento. Faça suas medidas variando a voltagem de 0,5 em 0,5 kV, começando do zero observando sempre a corrente de emissão. Para a ampola usada, certifique-se de que $l = 13$ cm (veja manual).

Atenção: Verifique se o seu amperímetro é apropriado para medir a corrente à tensão indicada (até 10 kV).

- De posse desses dados podemos comparar os comprimentos de onda obtidos pelas relações derivadas de de Broglie (eq 4) e pela lei de Bragg (eq 8), calcule os comprimentos de onda referentes a cada tensão aplicada e considere que as distâncias interplanares sejam conhecidas. Compare e discuta.
- Igualando as equações 3 e 8 e supondo conhecidas as distâncias interplanares, determine o valor da constante de Planck h a partir do gráfico de λ , obtido pela relação de Bragg (eq 8), contra $V^{-1/2}$ para os anéis de interferência observados.
- Para os dois anéis de interferência mais internos, determine as distâncias interplanares d 's do cristal de grafite obtendo-se a partir do gráfico de r contra $V^{1/2}$ (use o valor de h da literatura). Compare-as com os valores tabelados, e identifique na fig. 3 as correspondentes famílias de planos.

V-Questionário

- O que você entende por dualidade onda-partícula em radiação eletromagnética e na matéria? Dê exemplos de experiências que, historicamente, levaram a esse dualismo.
- Por que você pode aplicar a Lei de Bragg nesta experiência?
- Por que somente são vistos dois (três) anéis de difração?
- Podemos observar difração de prótons? E de nêutrons?
- Verifique a afirmativa de que a correção relativística, para as voltagens utilizadas, é de somente 0,5%.

VI- Bibliografia

- R. Eisberg / R. Resnick, *Física Quântica* (Biblioteca IFSC).
- B. E. Beeston / Robert W. Horne / Roy Markham, *Electron Diffraction and Optical Diffraction Techniques* (Biblioteca IFSC 535.3325/B415e).
- Frederico Sodré Borges, *Elementos de Cristalografia* (Biblioteca IFSC 548/B644e).
- Z. G. Pinsker, *Electron Diffraction* (Biblioteca IFSC 548.83/P658.e).
- University Laboratory Experiments Physics* (vol. 2), PHYWE (Laborat rios de Ensino da Física).

Vers o atualizada de outras apostilas: M. A. Aegerter, M. Siu Li, C. E. Munte.

