

1304 – Difração de elétrons



Roteiro elaborado com base na documentação que acompanha o conjunto por:
Máximo F. da Silveira – Instituto de Física – UFRJ

Tópicos Relacionados

Reflexão de Bragg, método Debye-Scherrer, planos de rede, estrutura do grafite, ondas de matéria, equação de de Broglie.

Princípios e objetivos

Elétrons acelerados a alta velocidade são difratados por um fino aglomerado de grafite policristalino, produzindo anéis de interferência que podem ser visualizados em uma tela fluorescente. As distâncias interplanares do grafite são determinadas a partir dos diâmetros dos anéis e do potencial acelerador.

Equipamentos

	127 V	220 V	
Tubo de difração de elétrons	06721.00	06721.00	1
Resistor de alto valor, 10 MOhm	07160.00	07160.00	1
Encaixe com pino	07260.00	07260.00	1
Plug conector, 2 pçs.	07278.05	07278.05	1
Cabo de conexão, 250 mm, vermelho	07360.01	07360.01	1
Cabo de conexão, 250 mm, azul	07360.04	07360.04	3
Cabo de conexão 750 mm, vermelho	07362.01	07362.01	2
Cabo de conexão, 750 mm, amarelo	07362.02	07362.02	2
Cabo de conexão, 750 mm, azul	07362.04	07362.04	3
Unidade de alimentação de alta tensão, 0-10kV e	13670.98	13670.93	1
Fonte de alimentação, 0...600 VDC e	13672.98	13672.93	1

Problemas

1. Medir o diâmetro dos dois anéis de difração mais internos para diferentes tensões do anodo.
2. Calcular os comprimentos de onda dos elétrons a partir das tensões no anodo.
3. Determinar os espaçamentos interplanares do grafite a partir da relação entre os raios dos anéis de difração e o comprimento de onda.

Montagem e procedimentos

Proceda a montagem do experimento conforme a Fig. 1. Conecte os terminais do tubo de difração de elétrons da fonte de tensão conforme o esquema da Fig. 2. Conecte a alta tensão ao anodo G3 através da ponta resistiva de proteção de 10 M Ω .

1304 – Difração de elétrons

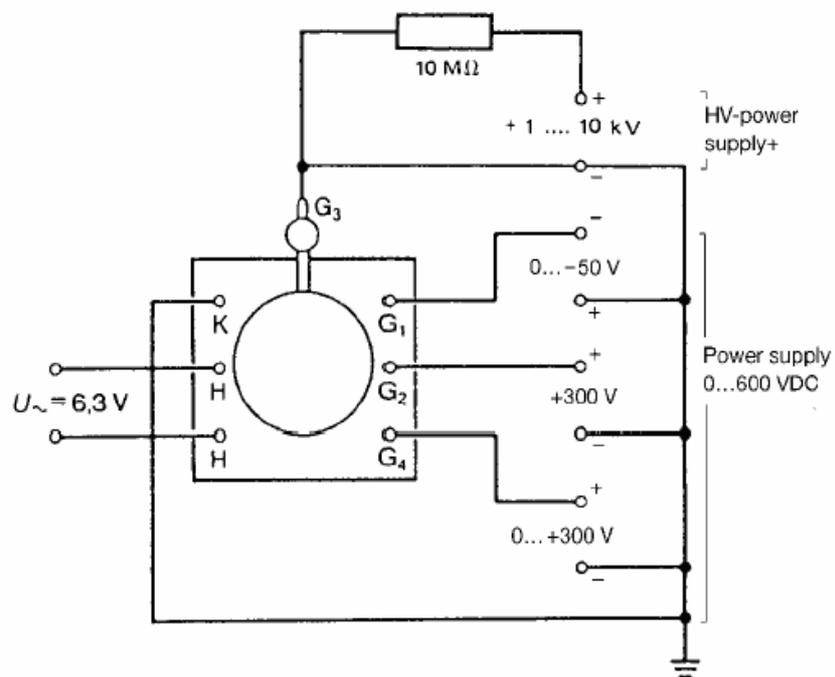


Fig. 1: Montagem experimental para difração de elétrons.

1304 – Difração de elétrons

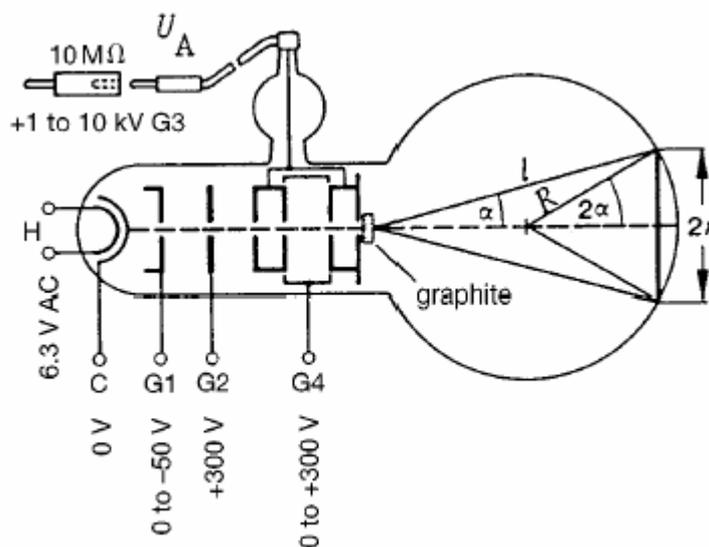


Fig. 2: Montagem e fonte de alimentação para o tubo de difração de elétrons.

Ajuste as tensões das grades G1 e G4 e a alta tensão G3 de forma a obter anéis de difração estreitos e bem definidos. Registre a tensão do anodo no mostrador da fonte de alta tensão. Para determinar o diâmetro dos anéis de difração meça os limites interno e externo dos anéis com o paquímetro (em uma sala escurecida) e tome o valor médio. Note a presença de um outro fraco anel atrás do segundo.

Teoria e análise

Para explicar o fenômeno de interferência, um comprimento de onda λ , que depende do momento, é atribuído aos elétrons de acordo com a equação de de Broglie:

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

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

O momento pode ser calculado a partir da velocidade v que os elétrons adquirem devido ao potencial acelerador U_A :

$$m v^2/2 = p^2/2m = e U_A \quad (2)$$

O comprimento de onda é portanto

$$\lambda = h/(2meU_A)^{1/2} \quad (3)$$

1304 – Difração de elétrons

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

Para as tensões U_A aplicadas, a massa de repouso do elétron pode substituir a massa relativística com um erro de apenas 0,5%.

O feixe de elétrons atinge um filme policristalino de grafite depositado sobre uma tela de cobre e é refletido conforme a condição estabelecida pela equação de Bragg:

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (n = 1, 2, 3 \dots) \quad (4)$$

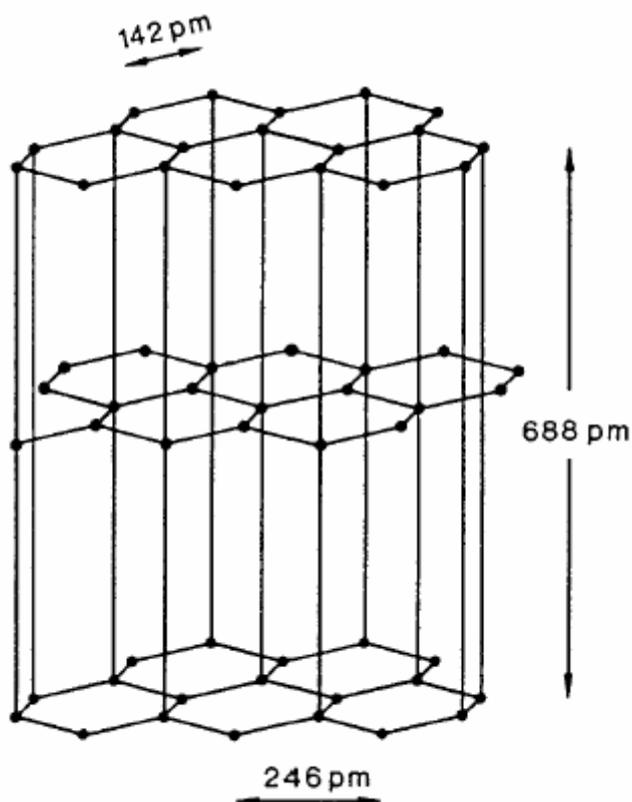


Fig. 3: Rede Cristalina do grafite.

Onde d é o espaçamento entre planos adjacentes de átomos de carbono e θ o ângulo de Bragg (ângulo entre o feixe incidente e os planos da rede). No grafite policristalino a ligação entre as camadas individuais (Fig. 3) são rompidas de forma que sua orientação é randômica. O feixe de elétrons é portanto espalhado na forma de um cone, produzindo anéis de interferência na tela fluorescente.

1304 – Difração de elétrons

O ângulo de Bragg θ pode ser calculado a partir do raio r do anel de interferência, mas deve-se perceber que o ângulo de desvio α (Fig. 2) é o dobro:

$$\alpha = 2\theta$$

Pela Fig. 2 temos que:

$$\text{sen}2\alpha = r/R \quad (5)$$

onde $R = 65 \text{ mm}$, é o raio do bulbo de vidro.

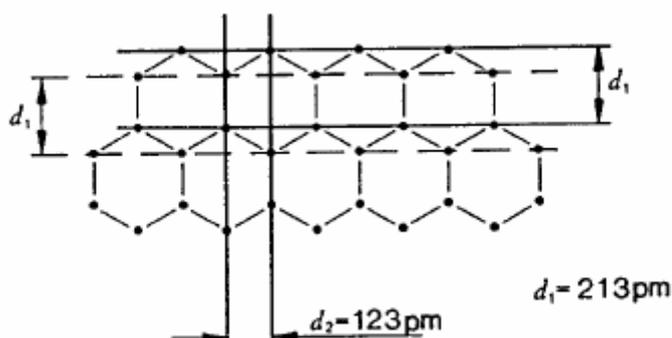


Fig. 4 : Planos do grafite para os dois primeiros anéis de interferência.

Para pequenos ângulos (p.e. $\cos 10^\circ = 0,985$), pode-se escrever

$$\text{sen } 2\alpha = 2\text{sen } \alpha \cos \alpha \cong 2 \text{sen } \alpha \quad (6)$$

assim para pequenos ângulos θ temos:

$$\text{sen } \alpha = \text{sen } 2\theta \cong 2 \text{sen } \theta \quad (6a)$$

Com esta aproximação obtemos

$$r = 2R n\lambda/d \quad (7)$$

Os dois anéis de interferência mais internos ocorrem devido às reflexões de primeira ordem ($n = 1$) pelos planos da rede do grafite com espaçamentos d_1 e d_2 (Fig. 4).

1304 – Difração de elétrons

O comprimento de onda é calculado a partir da tensão no anodo de acordo com (3):

U_A (KV)	λ (pm)
4,00	19,4
4,50	18,3
5,00	17,3
5,50	16,5
6,50	15,2
7,00	14,7
7,40	14,3

Aplicando um ajuste por regressão linear

$$Y = AX + B$$

aos valores medidos dos raios para os dois anéis da Fig. 5, obtemos

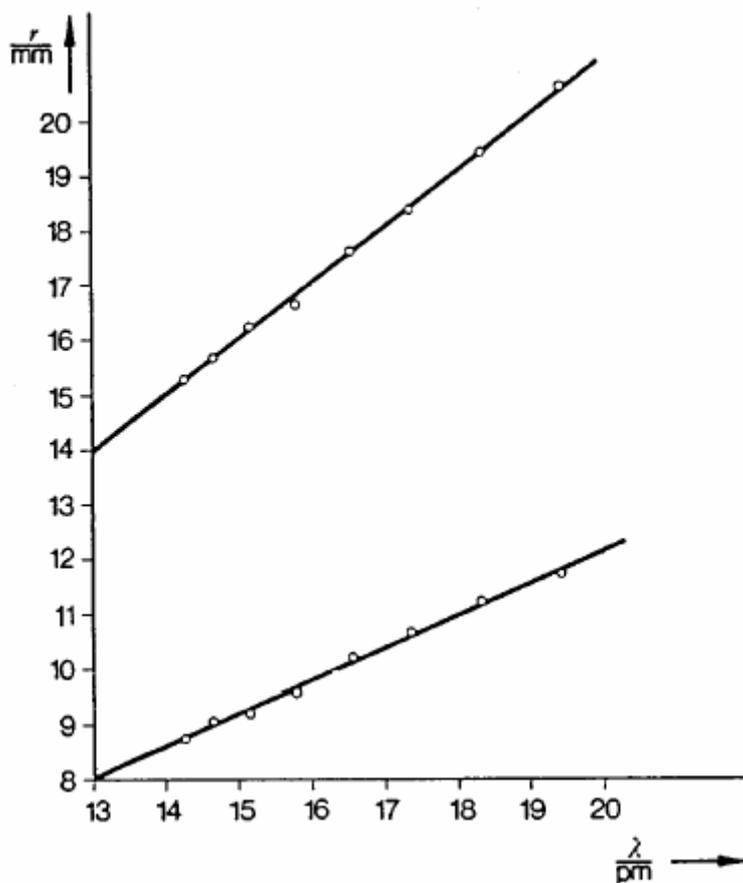


Fig. 5: Raios dos dois primeiros anéis de interferência em função dos comprimentos de onda dos elétrons.

1304 – Difração de elétrons

$$A_1 = 0,62 (2) \times 10^{-9}$$

$$A_2 = 1,03 (2) \times 10^{-9}$$

E as contantes de rede

$$d_1 = 211 \text{ pm}$$

$$d_2 = 126 \text{ pm}$$

de acordo com (7),

$$A_i = 2R/d_i \quad \text{e} \quad d_i = 2R/A_i .$$

Notas

- A intensidade dos anéis de interferência de maior ordem são bem menores que os de primeira ordem. Assim, por exemplo, o anel de segunda ordem para d_1 é difícil de indentificar e o anel de quarta ordem simplesmente não pode ser visto. O anel de terceira ordem para d_1 é relativamente fácil de se observar por que o grafite possui dois planos de rede juntos, espaçados por uma distância $d_1/3$ (Fig. 6).

Na sexta linha, ocorre claramente uma coincidência entre o anel de primeira ordem para d_4 e o de segunda ordem para d_2 .

Raios (mm) calculados de acordo com (4) para os anéis de interferência esperados, correspondentes ao comprimento de onda definido para $U_A = 7 \text{ KV}$:

	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$
d_1	8,9	17,7	26,1	34,1
d_2	15,4	29,9		
d_3	23,2			
d_4	31,0			
d_5	38,5			

1304 – Difração de elétrons

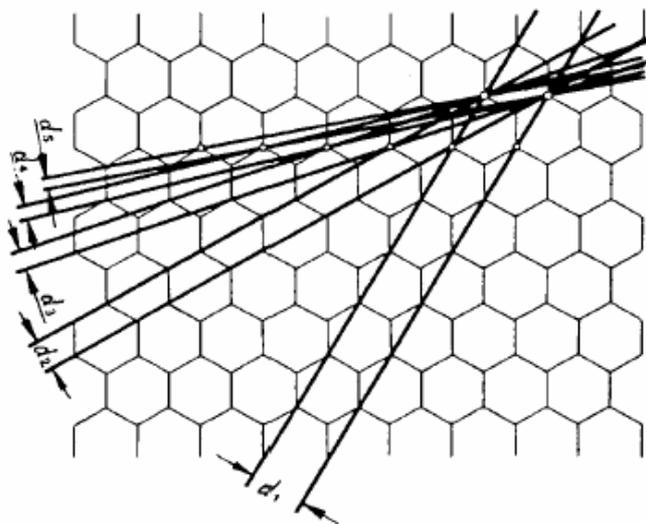
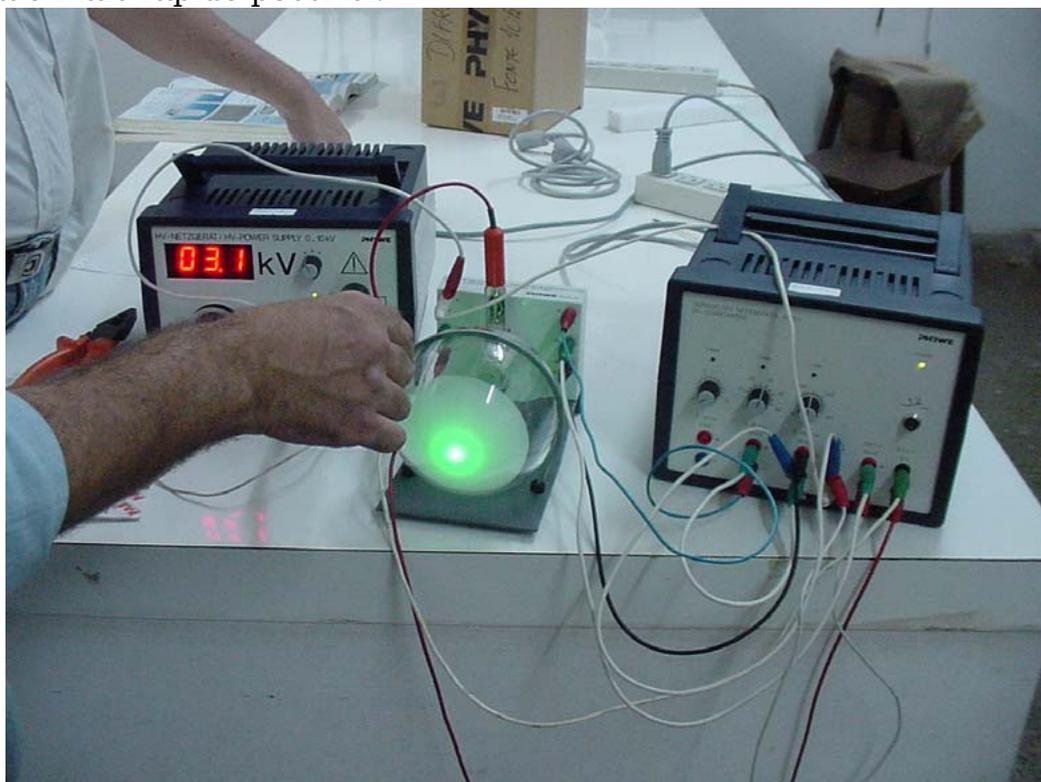


Fig. 6: Espaçamento interplanar no grafite.

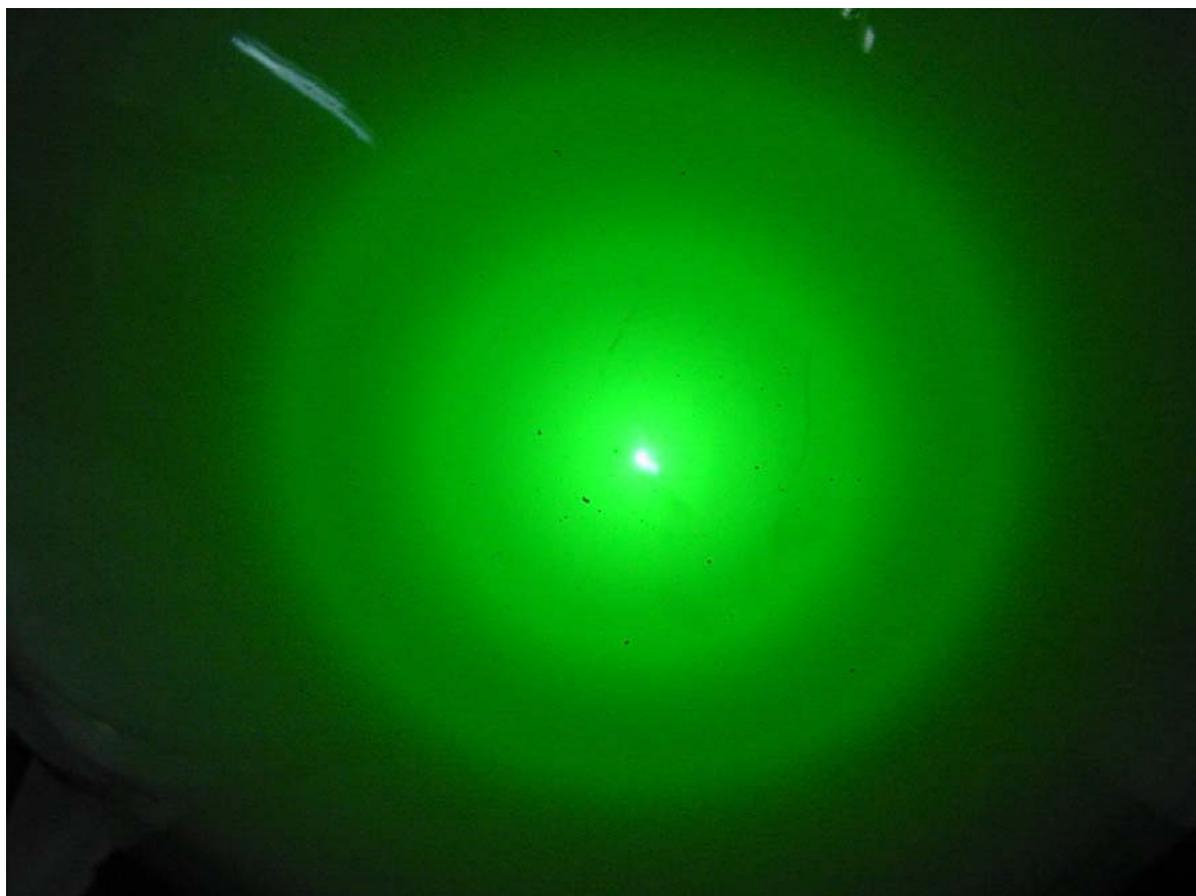
$d_1 = 213 \text{ pm}$ $d_2 = 123 \text{ pm}$ $d_3 = 80.5 \text{ pm}$ $d_4 = 59.1 \text{ pm}$ $d_5 = 46.5 \text{ pm}$.

A visibilidade dos anéis de maior ordem depende da intensidade de luz no laboratório e do contraste do sistema de anéis que pode ser influenciado pelas tensões aplicadas a G1 e G4.

O foco brilhante no centro da tela pode danificar a camada fluorescente do bulbo. Para evitar este problema, reduza a intensidade luminosa após cada leitura o mais rápido possível.



Ajustes sendo efetuados para obter a figura de interferência de elétrons –UFES-Vitória.



Anéis de interferência obtidos na montagem da UFES-Vitória.