

### c) Difração de elétrons

#### Introdução:

#### *A relação de de Broglie*

A relação entre o comprimento de onda  $\lambda$  da radiação eletromagnética e o momento linear  $p$  do fóton correspondente é dada por:

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

onde  $h$  é a constante de Planck. Em 1924, Louis de Broglie apresentou uma tese propondo a existência de ondas de matéria, estendendo a aplicabilidade da equação (1) para qualquer tipo de partícula. Nesta experiência, a relação de de Broglie (1) será testada por meio da difração de elétrons por cristais.

O comprimento de onda associado a elétrons não relativísticos de energia  $E = \frac{p^2}{2m}$  pode ser obtido de:

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

Numericamente, o comprimento de onda  $\lambda$  em  $\text{Å}$  pode ser obtido a partir da energia  $E$  em eV pela fórmula:

$$\lambda = \sqrt{\frac{150}{E}} \quad (3)$$

#### *O tubo de difração de elétrons*

A figura c-1 mostra o equipamento experimental que será utilizado nesta experiência. Um filamento aquecido libera elétrons que são acelerados por uma diferença de potencial  $V$  de 6 a 10 kV, incidindo sobre um alvo contendo filmes finos de cristais de grafite ou alumínio. Sobre a tela fluorescente do tubo aparece então uma figura de difração que permite, conhecendo-se a estrutura cristalina do material, determinar o comprimento de onda associado ao feixe de elétrons por intermédio da lei de Bragg.

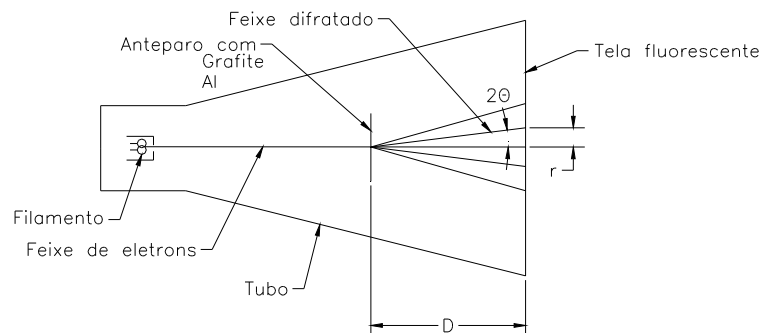


Figura c-1. Tubo de raios catódicos para medida de difração de elétrons.

### c) Difração de Elétrons

*A medida do comprimento de onda dos elétrons*

Pela lei de Bragg:

$$\lambda = \frac{2d \operatorname{sen}(\theta)}{n} \quad (4)$$

onde  $d$  é a distância interplanar de uma certa família de planos cristalinos e  $n$  é a ordem da difração.

Os ângulos de difração são obtidos de:

$$2\theta = \operatorname{arctg}\left(\frac{r}{D}\right) \quad (5)$$

onde  $r$  é a distância entre o ponto de incidência do feixe direto e um ponto de máximo da figura de interferência, medida sobre a tela fluorescente, e  $D$  é a distância entre o alvo e a tela. Como o comprimento de onda dos elétrons de 6 a 10 keV é muito menor que as distâncias interplanares  $d$  típicas, as primeiras ordens de difração ocorrem para ângulos pequenos. Além disso, os menores ângulos de difração estarão associados às famílias de maior distância interplanar. Para determinação de  $\lambda$  com boa precisão devem ser medidos os ângulos de difração correspondentes a diversas famílias de planos e ordens de difração.

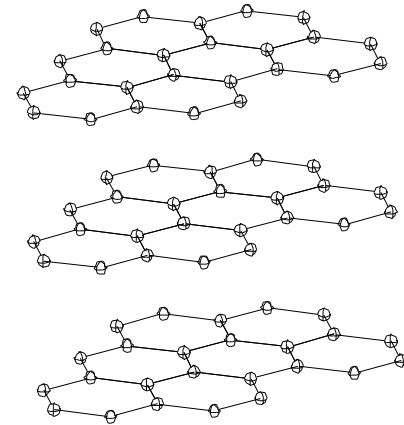


Figura c-2. Camadas de rês hexagonais de um cristal de grafite em perspectiva.

### *A estrutura cristalina do grafite*

Um monocristal de grafite consiste de uma superposição de camadas com átomos de carbono situados em pontos de uma rede bidimensional hexagonal. No plano de uma camada os átomos de carbono formam ligações covalentes, e os átomos vizinhos se encontram a uma distância  $a = 2.46 \text{ \AA}$ . Por outro lado, as diferentes camadas são separadas de distâncias muito maiores e interagem por forças de van der Waals (fig. c-2).

A tabela c-1 mostra, os parâmetros das diversas famílias de planos cristalinos do grafite (fig. c-3) e ordens de difração que correspondem aos menores ângulos de difração para um dado  $\lambda$ .

Tabela c-1 - Parâmetros da rês cristalina do grafite,  $a = (2.46 \pm 0.01) \text{ \AA}$  (fig. c-3).

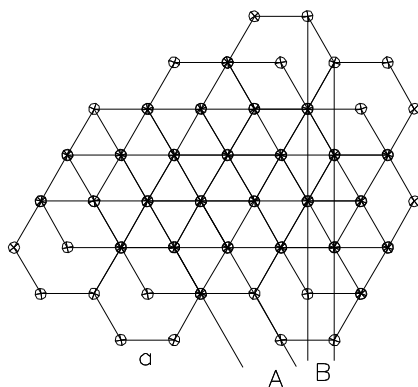


Figura c-3. Vista superior do cristal de grafite mostrando as famílias de planos A e B.

Família	$d$	$n$	$\frac{2d}{n}$	Ângulo
A	$\frac{a\sqrt{3}}{2}$	1	$a\sqrt{3}$	$\theta_1$
B	$\frac{a}{2}$	1	$a$	$\theta_2$
A	$\frac{a\sqrt{3}}{2}$	2	$\frac{a\sqrt{3}}{2}$	$\theta_3$

*A estrutura policristalina do alumínio*

A estrutura básica do Al é uma rede cristalina cúbica de faces centradas (vide Fig. c-4). Os átomos de Al se encontram nos vértices e no centro das faces de um cubo de lado  $a = 4.04 \text{ \AA}$ . O alumínio utilizado para a experiência consiste de um “policristal”, isto é, um conjunto de um grande número de pequenos cristais orientados aleatoriamente entre si. Por esta razão, a figura de difração do Al aparece como uma série de círculos concêntricos. A tabela c-2 mostra, os parâmetros das diversas famílias de planos cristalinos do Al e ordens de difração que correspondem aos menores ângulos de difração para um dado  $\lambda$ .

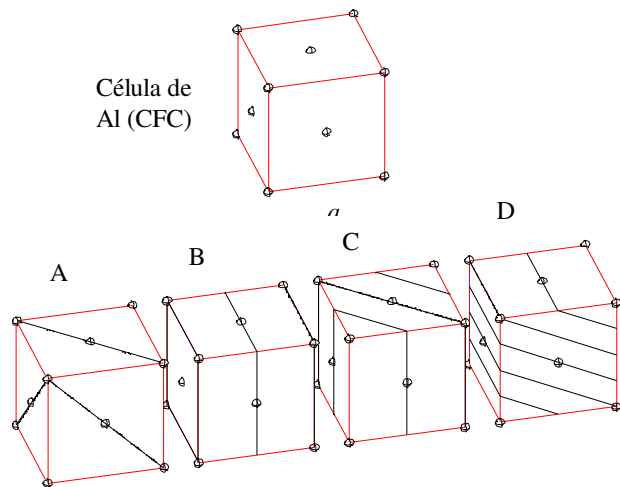


Figura c-4 - Célula cúbica de faces centradas e correspondentes famílias de planos cristalinos com  $d$  em ordem decrescente (A,B,C,D).

Tabela c-2 - Parâmetros de um cristal de alumínio (CFC),  $a = (4.04 \pm 0.01) \text{ \AA}$ .

Família	$d$	$n$	$\frac{2d}{n}$	Ângulo
<b>A</b>	$\frac{a}{\sqrt{3}}$	1	$\frac{2a}{\sqrt{3}}$	$\theta_1$
<b>B</b>	$\frac{a}{2}$	1	$a$	$\theta_2$
<b>C</b>	$\frac{a}{2\sqrt{2}}$	1	$\frac{a}{\sqrt{2}}$	$\theta_3$
<b>D</b>	$\frac{a}{\sqrt{11}}$	1	$\frac{2a}{\sqrt{11}}$	$\theta_4$
<b>A</b>	$\frac{a}{\sqrt{3}}$	2	$\frac{a}{\sqrt{3}}$	$\theta_5$
<b>B</b>	$\frac{a}{2}$	2	$\frac{a}{2}$	$\theta_6$

Procedimento experimental:

- 1) Ligar o tubo de raios catódicos com uma tensão de aceleração de 10 kV.
- 2) Dirigir o feixe eletrônico de forma a incidir sobre uma amostra de grafite produzindo uma figura de difração com pontos mais ou menos nítidos.
- 3) Medir a distância dos pontos em relação ao ponto central e determinar os três menores ângulos de difração ( $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  - equação 5).

### c) Difração de Elétrons

- 4) Determinar os comprimentos de onda do feixe de elétrons com auxílio da equação 4 da tabela c-1 para cada ângulo. Determinar o valor médio dos comprimentos de onda.
- 5) Comparar o valor obtido com o previsto com auxílio da relação de de Broglie (eq. 3).
- 6) Repetir o procedimento para uma amostra de alumínio. Neste caso determinar o raio dos 5 primeiros anéis e os ângulos de difração correspondentes, os valores de  $\lambda$  e o valor médio do comprimento de onda.
- 7) Repetir o procedimento com a amostra de alumínio para tensões de aceleração de  $V = 9, 8, 7$  e  $6$  kV.
- 8) Fazer um gráfico de  $\log \lambda$  versus  $\log V$ . Fazer um ajuste linear e verificar se a inclinação da reta corresponde à esperada (eq. 3).

Consulte também as páginas do Laboratório Didático:

<http://www.labdid.if.usp.br>