Universidade Federal do Paraná
Departamento de Física
Laboratório de Física Moderna

Bloco 02: DIFRAÇÃO DE ELÉTRONS

Introdução

Apesar de todas as evidências que foram obtidas até agora neste curso de que o elétron comporta-se como uma partícula, observadas diretamente ou indiretamente nas experiências da razão e/m, do efeito fotoelétrico e do experimento de Franck-Hertz, pode-se mostrar clara e insofismavelmente que o elétron comporta-se como uma onda. Na experiência do efeito fotoelétrico foi observado que a luz, que é uma onda eletromagnética, tinha todas as características de uma partícula nomeada por fóton. No experimento de difração de elétrons, verifica-se o contrário: o elétron, que deveria comportar-se como partícula, comporta-se como onda.

Foi Louis de Broglie, em 1924, quem primeiro ousou imaginar que os aspectos ondulatórios da matéria fossem relacionados com seus aspectos corpusculares exatamente da mesma forma quantitativa com que esses aspectos são relacionados para a radiação. Partículas comportam-se como ondas e que ondas também se comportam como partículas. É a dualidade onda-partícula, ideia pela qual de Broglie ganhou o Nobel em 1929. Foram Davisson e Germer que, em 1927, demonstraram claramente que elétrons difratavam como luz, confirmando a ousadia de de Broglie. O experimento de Davisson e Germer foi realizado com elétrons de 54 eV incidindo num monocristal de Ni. Davisson e Germer receberam o Nobel em 1937 devido à esta demonstração.

De Broglie postulou que partículas de massa *m* e velocidade *v* teriam um momento linear na forma:

$$p = h / \lambda = mv$$

e uma energia cinética:

$$E_c = h\nu = mv^2 / 2$$

Davisson e Germer utilizaram-se das ideias de von Laue e Bragg e fizeram incidir estas "ondas" sobre uma rede de difração natural, os cristais de matéria condensada. O raciocínio era idêntico ao de Bragg: se fótons de raios-x de comprimento de onda λ incidem sobre um cristal de parâmetro de rede *d*, então teremos máximos de interferência das ondas difratadas em um ângulo θ tal que:

$$2d\,\mathrm{sen}\,\theta = n\lambda$$

Para elétrons caracterizados com um momentum ***p*** e um comprimento de onda λ, espera-se interferências construtivas em certos ângulos bem determinados, como na Lei de Bragg, acima. Hoje, a difração de elétrons é uma ferramenta muito comum usada na caracterização de cristais. Esta técnica é encontrada em microscópios eletrônicos de transmissão e em câmaras de LEED (low energy electron diffraction) ou de RHEED (reflection high energy electron diffraction).

O tubo de difração de elétrons que será utilizado neste experimento é composto de um canhão de elétrons, um cristal de grafite plano e uma tela fluorescente para a visualização do fenômeno, tudo em vácuo no interior de um bulbo de vidro. Os elétrons são produzidos pelo efeito termoiônico num filamento quente. Há uma série de grades e aberturas, as quais, se devidamente manejadas com potenciais adequados, geram um feixe de elétrons colimados. Este feixe incide numa lâmina plana muito fina de grafite, transparente para os elétrons.

O grafite é um cristal composto de monocamadas de carbono (Fig. 1) ligadas entre si por fracas forças de van der Waals. Dentro das monocamadas cada carbono está ligado a outro por orbitais híbridos sp^2 covalentes. Estas ligações sp^2 fazem entre si ângulos de 120^o, o que leva a uma geometria hexagonal da rede cristalina. A rede do grafite é composta por planos principais de átomos de carbono afastados entre si de distâncias *d* bem características, as quais foram determinadas por difração de raios-x. Chamamos a atenção para duas distâncias interplanares principais importantes, de 0.213 nm e 0.123 nm, que aparecem no cristal de grafite (Fig. 1) e que vão ser os principais planos de difração na sua experiência.

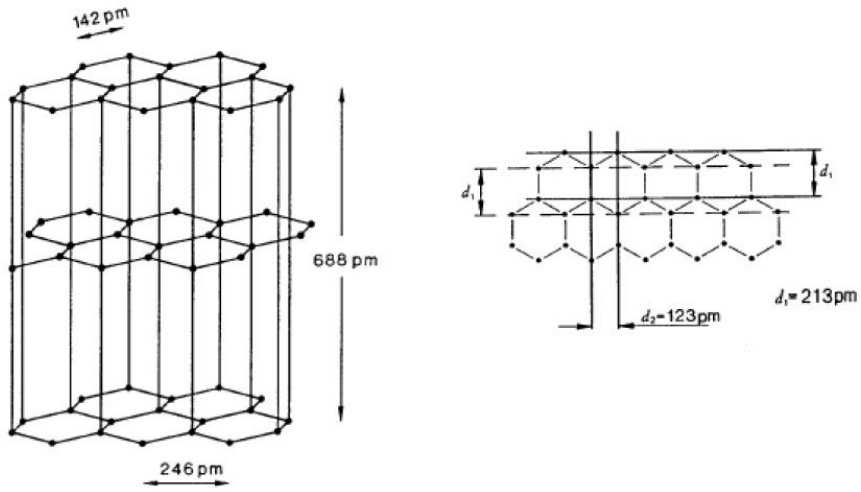


Figura 1 – À esquerda: rede cristalina do grafite. À direita: distâncias interplanares responsáveis pelos principais anéis de difração a serem observados no experimento.

É importante lembrar que a lâmina de grafite não é monocristalina. O policristal de grafite é formado por camadas planas de hexágonos sem compromisso de orientação umas com as outras. Portanto a difração ocorrerá em um cristal de grafite cuja orientação das células hexagonais é aleatória. Os elétrons atravessam o cristal, difratam segundo a Lei de Bragg, e geram círculos de difração sobre na fluorescente. A distância entre cristal e tela *L* é de 127 $\pm$ 3 mm e sendo *R* o raio do anel de difração temos que:

$$\mathbf{tg(2\theta) = R / L}$$

Para ângulos pequenos:

$$\mathbf{2sen\theta = R / L}$$

Usando a Lei de Bragg (n = 1) teremos:

$$\mathbf{\lambda L = dR}$$

Esta relação é utilizada por especialistas que operam qualquer microscópio eletrônico de transmissão no modo difração.

Procedimento

1) Ligue os fios às fontes de tensão. Siga o esquema abaixo. Chame o mestre para a conferência.

2) Ligue as fontes. Faça aparecer os anéis de difração dos elétrons na folha de grafite.

3) Para a medida do raio R sugerimos utilizar o paquímetro de plástico. Por que?

4) Primeiro veja se as velocidades eletrônicas neste experimento (V = 2.000 $\rightarrow$ 6.000 V) são relativísticas ou não. Se forem tem que cuidar nos cálculos que seguem!

5) Meça agora o raio dos dois anéis centrais para um bom número de voltagens de aceleração entre 2 e 6 kV. Anote R e V numa tabela. Um leve rearranjo das outras voltagens de controle do feixe de elétrons melhora a imagem para cada voltagem de aceleração.

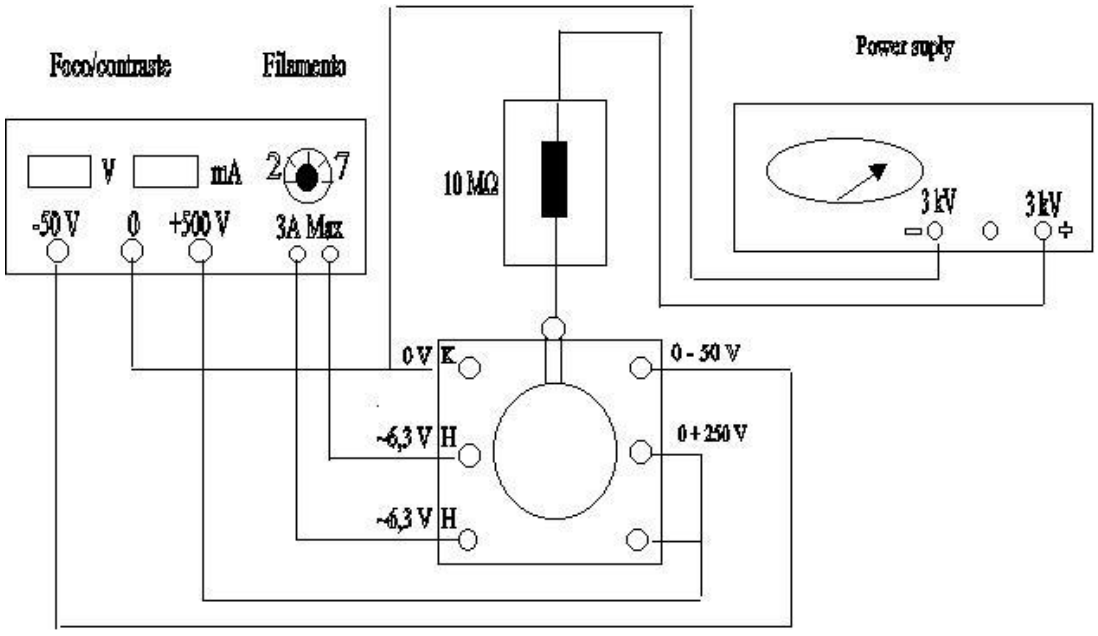
6) Faça gráficos de R versus $V^{-1/2}$ e obtenha d_1 e d_2 a partir do coeficiente angular da reta. Dica: use a conservação da energia, o postulado de de Broglie e a relação $\lambda L = dR$.

7) Mostre que para mesmas voltagens de aceleração o produto $d_1R_1 = d_2R_2$.

8) Outro tratamento: admitindo o valor oficial para o espaçamento atômico do grafite, faça gráficos de λ versus $V^{-1/2}$ e obtenha o valor da constante de Planck.

13) Não esqueça do vapt-vupt!

Esquema de ligação do experimento de difração de elétrons



UFPR- Departamento de Física

Laboratório de Física Moderna

Relatório Vapt-Vupt

Bloco 02: DIFRAÇÃO DE ELÉTRONS

1) Faça um cálculo rápido para verificar se seus elétrons são relativísticos ou não.

2) Faça uma tabela com valores de R_1, R_2 e V(KV)

R_1 (cm)	R_2 (cm)	V(kV)

3) Faça gráficos de R versus $V^{-1/2}$ e obtenha d_1 e d_2. Indique o procedimento para encontrar os valores.

4) Mostre que para mesmas voltagens de aceleração o produto $d_1R_1 = d_2R_2$.

5) Admitindo o valor oficial para o espaçamento atômico do grafite, faça gráficos de λ versus $V^{-1/2}$ e obtenha o valor da constante de Planck.