

DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE PLANCK USANDO UM LED

OBJETIVOS

O bombardeamento de uma superfície metálica por fótons provoca a emissão de elétrons dessa superfície, através de um efeito conhecido por efeito fotoelétrico. O efeito contrário (emissão de fótons ao “absorver” um elétron) pode ser estudado em diodos emissores de luz (LEDs). O levantamento da curva característica destes componentes permite estimar experimentalmente a constante de Planck ($h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s).

RESUMO

Quando uma superfície metálica é bombardeada por uma radiação eletromagnética (como a luz), nota-se que ela emite elétrons. Esse efeito é conhecido por efeito fotoelétrico [1]. De acordo com a teoria quântica de Planck, Einstein mostrou que a energia cinética (K) do elétron pode ser escrita como:

$$K = h\nu - W_o \quad (1)$$

em que h é a constante de Planck, ν a frequência da luz incidente e W_o a função trabalho (energia necessária para arrancar o elétron do átomo).

Se considerarmos que a energia fornecida pela luz incidente seja suficiente apenas para arrancar o elétron de sua órbita sem fornecer-lhe energia cinética inicial (isto é, $K = 0$), a equação 1 se reduz a:

$$W_o = h\nu \quad (2)$$

Dessa forma, podemos pensar o efeito contrário, em que um elétron livre com energia cinética K se rearranja com uma lacuna na órbita de um átomo, cuja energia de ligação seja W_o . Para esse efeito, o elétron deverá emitir a energia excedente na forma de um fóton. Se o elétron se aproximar da lacuna com uma energia cinética muito baixa ($K \sim 0$), e

considerando que a função trabalho é negativa ($W_o < 0$), temos que a diferença de energia deve ser emitida pelo elétron na forma de um fóton.

Este efeito pode ser observado em componentes eletrônicos formados por semicondutores dopados. Uma junção do tipo $p-n$ apresenta uma camada de reagrupamento das lacunas excedentes do substrato p com os elétrons excedentes do substrato n . Quando diretamente polarizado por uma fonte de tensão variável V , os elétrons excedentes na região n tentam atravessar a barreira de potencial. Quando a tensão de alimentação é suficiente para romper essa barreira, os elétrons conseguem atravessá-la, caindo na região p com energia cinética muito baixa. Ao penetrar na região p , os elétrons se recombinam com as lacunas, emitindo radiação eletromagnética dentro de uma faixa de frequências, que depende do tipo de dopagem e do elemento utilizado no cristal semicondutor.

Para o GaAs, a emissão se dá na região do infra-vermelho. Adicionando-se fósforo, na região do vermelho visível [3]. Este tipo de componente eletrônico recebe o nome de diodo. Se a radiação emitida se encontra na região da luz visível ou do infra-vermelho, seu encapsulamento é transparente e recebe o nome de LED (light-emitting diode), ou diodo emissor de luz.

A corrente que atravessa um diodo pode ser calculada em função da tensão aplicada à junção pn , considerando a difusão dos elétrons e das lacunas [3, 4]. A equação da corrente (I) em função da tensão aplicada (V) é dada pela equação:

$$I = I_o \left[\exp\left(\frac{eV}{\eta kT}\right) - 1 \right] \quad (3)$$

em que k é a constante de Boltzmann, T a temperatura absoluta, I_o a corrente de difusão térmica, e a carga fundamental e η uma constante que depende da geometria e do material de que é feito o diodo.

Se as cargas se difundem diretamente através da junção do diodo, $\eta = 1$. Este valor é uma aproximação para simplificar a equação 3, devido à dificuldade experimental de medir esta constante.

Para correntes superiores a 2 nA, a parcela 1 que é subtraída na equação 3 pode ser desprezada, simplificando ainda mais a equação. Outra dificuldade experimental consiste em determinar com precisão a corrente de difusão térmica I_o , cujo valor varia de $1,5 \times 10^{-21}$ A, para um LED verde típico, a $2,2 \times 10^{-11}$ A para um LED infravermelho na faixa de emissão de 940 nm [5]. Aplicando todas estas aproximações à equação 3, temos:

$$I = I_o \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) \quad (4)$$

Outro fator difícil de considerar experimentalmente é a resistência do diodo, que também depende do comprimento de onda da radiação emitida. Entretanto, para valores de tensão V maiores que a tensão necessária para que os elétrons rompessem a barreira de potencial (V_D), o comportamento da curva $I(V)$ pode ser aproximado por uma reta, uma vez que o diodo passa a comportar-se como um componente ôhmico. Essa reta tangente à curva $I(V)$ intercepta o eixo das tensões em V_D . Considerando as condições propostas na dedução da equação 2, a função trabalho de um elétron da região n com potencial V_D ao reagrupar-se com uma lacuna da região p é $W_o = eV_D$. Substituindo este valor na equação 2, temos:

$$eV_D = h\nu \quad (5)$$

Como $\nu = c/\lambda$, temos, finalmente que:

$$h = \frac{eV_D\lambda}{c} \quad (6)$$

Para outros detalhes, leia a referência 2.

MATERIAL UTILIZADO

1. 6 LEDs de cores diferentes.
2. Amperímetro
3. Voltímetro
4. Potenciômetro
5. Rede de Difração
6. Goniômetro

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A fim de determinar experimentalmente a constante de Planck, o circuito da figura 1 deverá ser montado. A fonte de tensão V está ligada a um potenciômetro de precisão (R), cujo cursor está ligado ao LED a ser estudado, diretamente polarizado. O voltímetro mede a tensão sobre o LED e o miliamperímetro mede a corrente que o atravessa.

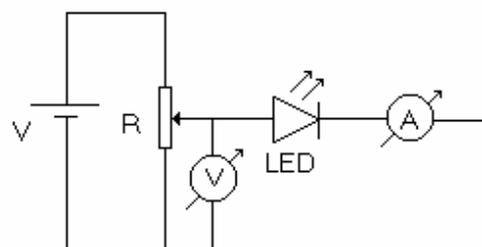


Figura 1 – Circuito utilizado para determinar a constante de Planck.

