

## 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,  $\nu$  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 semiconductor.

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  $\eta$  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:

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

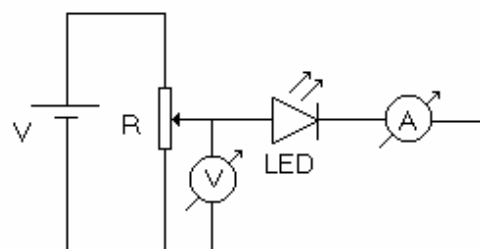
**Para outros detalhes, leia a referência 2.**

#### 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.**

