

# Díodos Emissores de Luz (LED) e a constante de Planck

## OBJECTIVO

Os objectivos desta experiência são:

- Determinar o comprimento de onda da luz emitida por um LED
- Determinar a constante de Planck

## INTRODUÇÃO

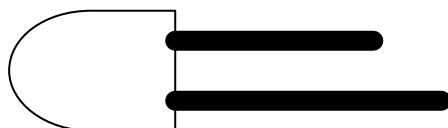
Os díodos emissores de luz ou LED (de *Light Emitting Diode*) emitem luz quando são percorridos por uma corrente eléctrica. Esta emissão de luz ocorre quando electrões transitam entre estados de diferentes energias ao passarem na junção entre os dois tipos (*n* e *p*) do material semicondutor de que é feito o díodo. A diferença de energia entre estes estados é uma propriedade do material semicondutor. Num díodo, a passagem de corrente só é significativa quando o díodo é polarizado no sentido directo (corrente eléctrica convencional do lado *p* para *n*) e, nestas condições, ocorre a emissão de luz. Na polarização directa é aplicada uma diferença de potencial *V* e, para que um electrão atravesse a junção semicondutora, é necessário realizar um certo trabalho *W*. Este trabalho é convertido, em grande parte, na energia dos fotões emitidos. No entanto, há pequenas perdas de energia, devidas ao efeito de Joule e processos que ocorrem no interior da junção, que têm um valor praticamente constante para LEDs dum mesmo tipo quando **atravessados por uma mesma corrente eléctrica**. Nestas condições,

$$W = E_f + k ,$$

onde *E<sub>f</sub>* é a energia do fotão emitido e *k* uma constante que representa outras perdas de energia.

A luz emitida por um LED é praticamente monocromática. É possível fabricar LEDs que emitem luz de diferentes cores, alterando a composição química do material semicondutor. Os LEDs mais comuns são feitos de ligas de gálio, arsénio e alumínio. Alterando a proporção de gálio e alumínio é possível fabricar LEDs que emitem várias cores na gama do visível e do infravermelho.

Os LEDs comerciais são fornecidos com o material semicondutor encapsulado (plástico) e com dois terminais, sendo o mais longo o positivo (lado *p*).



Para determinar o comprimento de onda,  $\lambda$ , da luz emitida por um LED podemos usar uma rede de difracção. Os ângulos  $q_n$  para os quais ocorrem os máximos de intensidade difractada por uma rede com espaçamento entre linhas *d*, são dados pela equação:

$$d \sin q_n = n\lambda$$

*n*: um número inteiro

## MATERIAL

- Régua graduada
- Folhas de papel branco A3
- Conjunto de LEDs do mesmo tipo montados num suporte
- Pilha de 9 V
- Fios e garras (crocodilos) para ligações
- Potenciómetro ( $470\ \Omega$ )
- Resistência ( $220\ \Omega$ )
- Resistência ( $11,4\ k\Omega$ )
- Dois multímetros
- Rede de difracção (1000 linhas/mm) montada num suporte

## DADOS:

Carga elementar:  $e = 1,602 \times 10^{-19}\ C$

Velocidade da luz no vácuo:  $c = 2,998 \times 10^8\ m\ s^{-1}$

Constante de Boltzmann:  $k_B = 1,381 \times 10^{-23}\ J\ K^{-1}$

## PRECAUÇÕES:

- 1- A corrente eléctrica que atravessa o LED não deverá exceder cerca de 50 mA, pois este pode danificar-se. Para protecção do LED, a resistência de  $220\ \Omega$  **deve estar sempre ligada em série com o LED.**
- 2- Tenha em atenção as escalas na utilização segura dos multímetros como amperímetros ou como voltímetros. A manipulação incorrecta do multímetro poderá queimar o seu fusível interno, comprometendo o seu trabalho.

## INFORMAÇÃO

1 - O potenciómetro tem 3 terminais e permite variar a tensão entre o terminal central e uma das extremidades, desde 0 até ao valor máximo fornecido pela pilha.

2 - São fornecidos LEDs com as seguintes características:

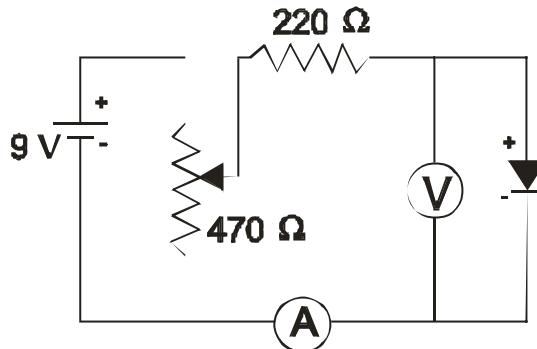
**Tabela 1:**

LED	$\lambda / nm$
Azul	470
Verde	??
Vermelho	630
Infravermelho	950

## A) COMPORTAMENTO ELÉCTRICO DOS LEDS:

Pretende-se determinar a curva característica do LED verde, ou seja, a relação entre a corrente,  $I$ , que o atravessa e a tensão,  $V$ , aplicada aos seus terminais.

**1 -** Monte um circuito que permita alimentar o LED verde com uma tensão variável em polarização directa, de acordo com a Fig.1. A resistência de  $220\ \Omega$  assegura que a corrente no LED não excede os  $50\text{ mA}$ , respeitando os limites de segurança.



**2 -** Encontre a curva característica para o LED verde: apresente uma tabela com os valores medidos de tensão  $V$  e corrente  $I$ , com a indicação das respectivas unidades; faça um gráfico de  $\ln I$  em função de  $V$  (não se esqueça de converter a corrente de  $\text{mA}$  para  $\text{A}$ ).

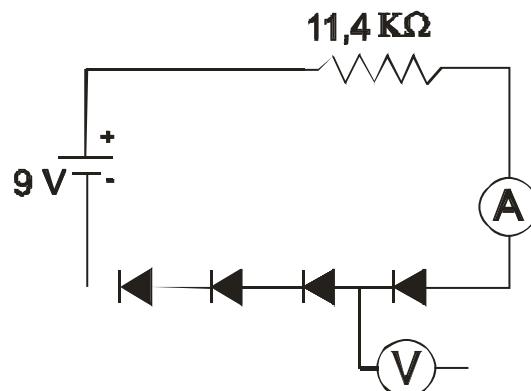
**3 -** A expressão *teórica* que relaciona a corrente com a tensão é:

$$I = I_0 \left( e^{\frac{eV}{h k_B T}} - 1 \right) \approx I_0 e^{\frac{eV}{h k_B T}}$$

em que  $I_0$  e  $h$  são constantes características de cada LED,  $e$  é a carga do electrão,  $k_B$  é a constante de Boltzmann e  $T$  é a temperatura ambiente (em kelvin). A expressão aproximada é válida para  $V > 2\text{ V}$ . O gráfico que obteve está de acordo com o que espera da expressão teórica? Justifique.

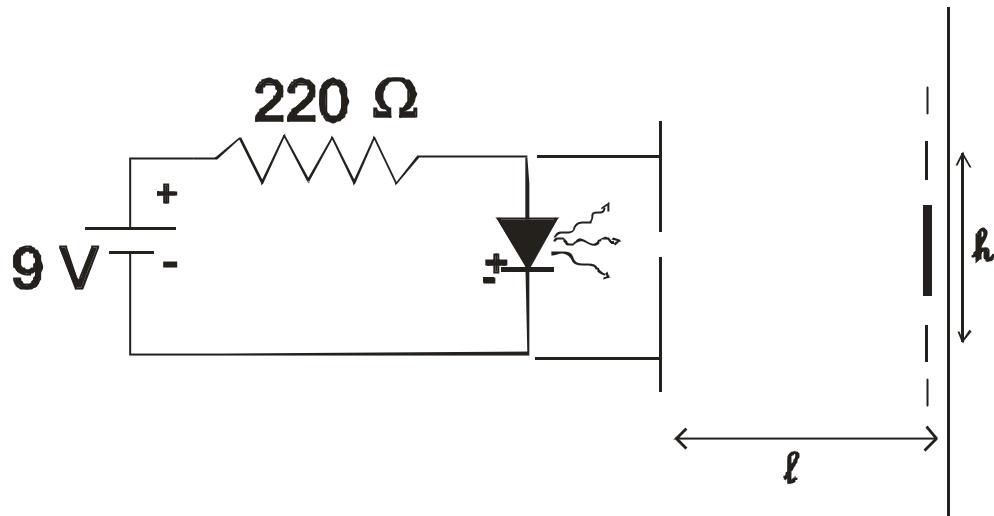
Faça um gráfico de  $\ln I$  em função de  $V$  só com os pontos para os quais a expressão aproximada é válida. Determine o valor das constantes  $h$  e  $I_0$  para o LED verde (considere  $T = 293\text{ K}$ ).

**4 -** Ligue os LEDs em série e também em série com a resistência de  $11,4\text{ k}\Omega$  e aplique ao circuito a tensão de  $9\text{ V}$  (pode usar os crocodilos para fazer as ligações entre os LEDs), de acordo com a Fig2. Registe a corrente que percorre o circuito. Registe numa tabela o valor da tensão,  $V$ , nos terminais de cada LED, bem como o valor do comprimento de onda (tabela 1) e frequência da radiação que cada um emite (o valor para o LED verde é determinado na parte B).



## B) DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DE ONDA DO LED VERDE:

**5** – Ligue o LED verde à pilha de 9V em série com a resistência de  $220\ \Omega$ . Para determinar o comprimento de onda do LED verde coloque o tubo preto com a rede de difracção a envolver o LED e verifique visualmente que ocorrem máximos de intensidade de um lado e do outro da direcção frontal. Utilize as folhas A3 para projectar o espectro de difracção. Meça a distância  $h$  entre os dois máximos de primeira ordem e a distância  $l$  entre a rede de difracção e o alvo, indicando as respectivas incertezas.



Determine, a partir de  $h$  e  $l$ , o ângulo  $\theta_1$  correspondente à difracção de primeira ordem. Determine o comprimento de onda emitido pelo LED verde. Apresente o resultado com a respectiva incerteza.

## C) DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE PLANCK, $h$ :

**6** - Utilizando os dados da tabela obtida em 4 (parte A), completada com a informação obtida em B, represente graficamente a tensão  $V$  em função da frequência  $v$  da luz emitida pelos LED's. Note que de

$$W = E_f + k$$

vem

$$eV = hn + k$$

ou

$$V = \frac{h}{e}n + k$$

**7** - Determine, a partir do gráfico, o valor da constante de Planck e da respectiva incerteza. Comente o resultado. (O valor tabelado desta constante obtida por métodos muito precisos é  $h = 6,626 \times 10^{-34}$  J s.)