

Incerteza na determinação experimental da constante de Planck

Ícaro Teixeira Lima^{1,2}, Antonio Edson Carvalho Filho², Antonio Jamil Mania²,
Walter Americo Arellano Espinoza², Fernando Remigio Tamariz Luna²

¹ Mestrado Profissional em Metrologia e Qualidade, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO; ² Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC

E-mails: itlima-pronametro@inmetro.gov.br; aedson@uesc.br; mania@uesc.br;
romanxx.walter@gmail.com; tamariz@uesc.br

Resumo: A constante de Planck constitui-se uma das mais importantes constantes no mundo quântico, sendo fundamental para o entendimento de vários conceitos e interpretações físicas e químicas. Na literatura especializada, são citados vários métodos utilizados para a determinação da constante de Planck. Um dos métodos utiliza diodos de emissão de luz, LED's (Light Emitting Diode), o qual foi utilizado neste trabalho. O arranjo experimental utilizado neste trabalho permitiu a estudo do efeito fotoelétrico e possibilitou a determinação da constante de Planck com incerteza associada.

Palavras-chave: Metrologia, constante de Planck, efeito fotoelétrico, incerteza de medição, LED.

Abstract: The Planck's constant constitutes one of the most important constant into quantum world being fundamental to understand several concepts and interpretations physical and chemical. In specialized literature, many methods used to the determination of planck's constant are cited and one of them use light emitting diodes (LEDs) which was utilized in this work. The experimental arrangement used in this work allowed an study of photoelectric effect and enabled the determining of the planck's constant with its uncertainty associated.

Keywords: Metrology, Planck constant, photoelectric effect, measurement uncertainty, LED.

1. INTRODUÇÃO

A constante de Planck tem surgimento quando Max Planck resolve o problema de radiação do corpo negro ao propor que a energia da radiação eletromagnética ressonante contida numa cavidade é proporcional à frequência desta radiação [1]. Após a explicação da radiação de corpo negro e do efeito fotoelétrico a Física teve uma propulsão enorme, fornecendo bases teóricas

fundamentais para o desenvolvimento de novos dispositivos eletrônicos, como por exemplo, os Diodos Emissores de Luz, LED (Light Emitting Diode). Um dos primeiros a tentar interpretar o efeito fotoelétrico foi H. Hertz, que não obteve êxito por tratar a luz como onda (teoria clássica). Isto o levou a entender que os elétrons absorviam a energia da luz para escapar do potencial coulombiano [2].

Este trabalho busca difundir a metrologia utilizando-se de um aparato experimental que permite ao discente reproduzir o experimento do efeito fotoelétrico. Assim, as bases da metrologia científica são inseridas na determinação experimental da constante de Planck, observando-se o efeito fotoelétrico. Também, através deste experimento foi possível observar o comportamento de um LED em um circuito elétrico simples, determinando-se o comprimento de onda da luz emitida por ele, seguindo o proposto por Cavalcante et al [3].

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Metrologia

Desde a década de 1970 estão no mercado os Diodos Emissores de Luz (LEDs) que são dispositivos eletrônicos semicondutores com princípio de funcionamento baseado na emissão de luz por meio da recombinação elétrons-buracos numa junção p-n após esta ser percorrida por uma corrente elétrica [4,5]. Os LEDs são objeto constante de pesquisa e, neste trabalho, auxiliam na determinação da constante de Planck [6].

2.1.1 Incerteza do Tipo A

Em todo processo de medição há uma incerteza associada. Existem métodos pelos quais tais incertezas podem ser estimadas. Para um conjunto de dados de uma variável aleatória, muitas vezes a média corresponde a melhor estimativa, ou seja:

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k \quad (1)$$

onde cada medida q_k é realizada sob as mesmas condições [7]. Entretanto, cada medida sofre certas variações em torno da média, chamado de desvio, por conta das grandezas de influência atuando nestas medidas de forma aleatória. Assim sendo, o parâmetro utilizado para expressar a incerteza do tipo A é a variância, calculada por:

$$s^2(q_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2 \quad (2)$$

cuja raiz quadrada positiva é, justamente, o desvio padrão experimental que significa o quanto o melhor valor estimado pode variar.

2.1.2 Incerteza do Tipo B

Incertezas do tipo B são estimadas por outras formas, como por exemplo, especificações técnicas fornecidas pelo fabricante.

Segundo Vuolo [8], a utilização da metade do limite de resolução do instrumento é válida como regra geral. Desta forma, o desvio-padrão deste tipo de incerteza é dado por

$$s \cong \frac{L_r}{2} \quad (3)$$

em que L_r é o limite de resolução do instrumento.

2.1.3 Efeito Fotoelétrico

A abordagem do efeito fotoelétrico, considerando a radiação de corpo negro e a quantização do campo eletromagnético, permite concluir que a energia no campo da radiação não se expressa como uma distribuição contínua, mas se pode expressar o campo em termos de quanta (fótons) de energia, sendo esta energia dada por:

$$E = hv \quad (4)$$

onde v é a frequência da radiação e h a constante de Planck.

Assim, elétrons são ejetados com uma determinada energia cinética, desde que a frequência da luz incidente seja tal que:

$$hv > e\phi \quad (5)$$

onde e a carga do elétron e ϕ é a função trabalho. A expressão geral que resume o efeito fotoelétrico é então:

$$hv = E_e + e\phi \quad (6)$$

onde E_e é a energia cinética do fotoelétron.

No experimento usa-se um potencial retardador V para medir energia cinética do fotoelétron, a

qual será $E_e = eV_0$, onde V_0 é o potencial de corte calculado por extrapolação de dados.

3. METODOLOGIA

O procedimento experimental para a determinação da constante de Planck foi estabelecida basicamente em duas etapas: primeiro com a montagem do circuito experimental e medida da tensão limiar e, segundo, a determinação dos comprimentos de onda dos LED's.

3.1 Montagem do Circuito Experimental e medida da tensão limiar.

Para realizar a montagem experimental utilizamos componentes eletrônicos simples, como se mostra na seguinte figura:

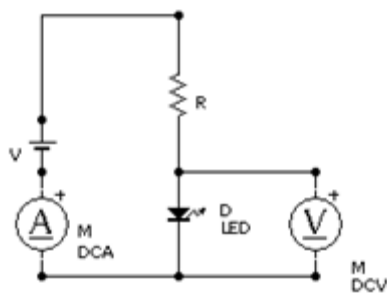


Figura 1: Circuito experimental para determinar tensão e corrente em cada LED

Assim foram realizadas medidas de tensão e corrente em cada LED, fazendo-se variar a fonte de corrente contínua.

3.2 Determinação dos comprimentos de onda dos LED's.

Para a determinação dos comprimentos de onda dos fótons de luz correspondentes a cada LED, foi utilizado o método de grade de difração.

Para isto, foi utilizado um goniômetro com uma grade de difração de constante de rede $1 \times 10^{-6} m$ e 1000 *fendas/mm*. Realizou-se o alinhamento do sistema utilizando um prisma e uma lâmpada de luz branca. A fonte de luz branca foi substituída pelo LED para realizar

medidas das posições angulares dos espectros de linha, ver figura 2.



Figura 2: Goniômetro utilizado para determinação do comprimento de onda por grade de difração

4. RESULTADOS

Usando a montagem experimental da figura 1, procedemos a realizar medidas da tensão limiar dos LED's de potência. A partir dos dados obtidos foram gerados gráficos de corrente em função da voltagem. Em cada gráfico foi observado a existência de uma região em que os pontos experimentais se comportam de forma regular, ou seja, com tendência para uma reta. Assim, usando a parte regular da curva se faz extrapolação cuja prolongação da reta cruza o eixo permitindo determinar a tensão limiar do LED.

As tensões limiars de corte (V_0) para cada cor, assim como as frequências que foram obtidas usando a figura 3, são resumidas na tabela 1.

Tabela 1: Tensão limiar e frequência dos LED's.

Cor	V_0	ν ($\times 10^{14}$ Hz)	λ (nm)
Azul	2,41	7,073913591	423,8
Verde	2,14	6,257408850	479,1
Laranja	1,73	5,549656757	540,2
Vermelho	1,65	5,128163839	584,6

As frequências foram calculadas a partir dos valores de comprimento de onda e utilizando-se $c = 299\,792\,458 m/s$ conforme o (BIPM).

Os valores das frequências foram inseridos em um diagrama em função das tensões de corte (V_0), conforme a figura 3.

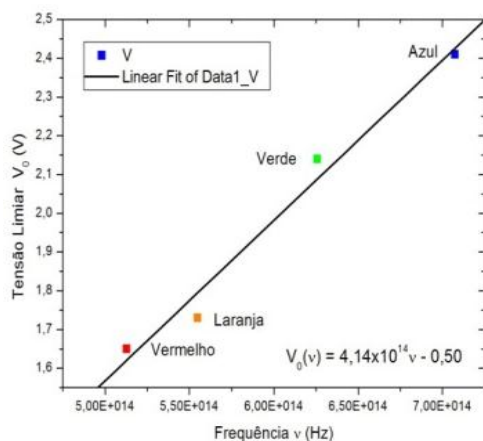


Figura 3: Gráfico de tensão limiar vs frequência

O coeficiente angular multiplicado pelo valor da carga elétrica elementar resulta a constante de Planck, assim determinada:

$$h = (6,63 \pm 0,01) \times 10^{-34} \text{Js} \quad (7)$$

Onde, a incerteza final da medição é resultado da propagação de incertezas tipo A e tipo B. Os componentes da incerteza tipo B incluem dados de calibração e resolução dos aparelhos usados.

5. CONCLUSÕES

Observando apenas o resultado da constante de Planck obtida podemos dizer que o experimento é satisfatório, mas percebe-se que os valores dos comprimentos de onda referente a cada LED não condiz com valores aceitos e isto pode estar relacionado ao fato de não dispormos de uma estrutura que possibilitasse melhor alinhamento na parte óptica do experimento. No entanto, este trabalho possibilita investigações posteriores para identificar outras grandezas de influência e estimar melhor a incerteza associada.

6. REFERÊNCIAS

[1] Eisberg R, Resnick R 1979 *Física Quântica – Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas*, Editora Campus.

[2] Liu L, *Determination of Planck's constant using the photoelectric effect*, 2007.

[3] Cavalcante M A, Tavoraro C R C, Souza D F e Muzinatti J, *Física na Escola* **Vol. 3** Nº 1, 2002.

[4] Albertazzi A, Sousa A R, *Fundamentos de metrologia científica e industrial*, Barueri SP: Manole, 2008.

[5] Himbert M E *Eur. Phys. J. Special Topics* **172**, 25-35, EDP Sciences, Springer-Verlag, 2009.

[6] Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro, *Vocabulário Internacional de Metrologia – Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012)*, Portaria nº 232/2012.

[7] International Organization for Standardization, *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, First edition, corrected and reprinted 1995, International Organization for Standardization, 1993.

[8] Vuolo J H, *Fundamentos da teoria dos erros*, 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Edgard Blucher, 1996.