

18.09.20

Efeito fotoelétrico (Experimento III)

Resumo

O efeito fotoelétrico é definido pelo processo de emissão de elétrons de uma superfície ao ser incidida por luz. Esse efeito pode ser observado experimentalmente avaliando a alteração na corrente entre uma placa de metal e um coletor metálico ao incidir luz na placa. Nesse experimento, utilizamos um fototubo no qual incidimos luz em diferentes comprimentos de onda e registramos a variação de corrente, o que nos permitiu determinar a função trabalho do material observado do tubo e calcular a constante de Planck.

Introdução

A primeira evidência do efeito fotoelétrico foi feita por Hertz em experimentos entre 1886 e 1887, que percebeu que uma descarga elétrica entre dois eletrodos ocorria mais facilmente ao incidir luz ultravioleta em um deles. Em seguida, esse efeito foi estudado por Lenard, que mostrou que essa incidência fazia com que elétrons fossem emitidos do cátodo. Assim, o efeito fotoelétrico foi caracterizado como a emissão de elétrons de uma superfície devida à incidência de luz sobre essa superfície. Experimentalmente, esse efeito é observado utilizando um fototubo e diferentes fontes de luz. Quando associamos uma tensão negativa a esse fototubo temos, a princípio, corrente nula passando nele. No entanto, nota-se que a corrente deixa de ser nula quando luz é incidida nele.

Se a tensão inversa for continuamente aumentada, será observada uma tensão de corte (V_c), na qual a corrente cai a zero. Essa tensão nos permite definir a energia cinética máxima, ou seja, do mais rápido fotoelétrion emitido, como sendo:

$$K_{\text{máx}} = e \cdot V_c \quad (1)$$

sendo e = carga do elétron.

Além disso, podemos escrever a energia cinética do elétron emitido em função da energia do fóton incidente absorvido ($E = h\nu$) e do trabalho necessário para remover o elétron do material, que é característico de cada material, e é chamado de função trabalho (w_0), de forma que:

$$K_{\text{máx}} = h\nu - w_0 \quad (2)$$

sendo $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg/s}$ a constante de Planck.

A função trabalho é definida para energia cinética máxima do elétron, ou seja, quando ele possui a ligação mais fraca e não sofre nenhuma perda interna.

Portanto, unindo as equações (1) e (2) temos que:

$$e \cdot V_c = h\nu - w_0$$

$$\Rightarrow V_c = \frac{h}{e} \nu - \frac{w_0}{e} \quad (3)$$

sendo ν = frequência da onda incidente.

Sabendo disso, foi possível calcular experimentalmente a constante de Planck e a função trabalho do material que compõe o fototubo.

Objetivo

Este experimento teve por objetivo estudar o efeito fotoelétrico e, a partir dele, determinar a constante de Planck e a função trabalho do material absorvedor de um fototubo.

Metodologia

Para realizar este experimento, foram utilizados:

- Um fototubo com amperímetro acoplado, voltímetro, luz branca, filtros coloridos e LEDs emissores.

Procedimento experimental:

1. Primeiro foi feita a calibração do potencial de referência do fototubo. Para isto, a entrada de luz foi tampada com um filme opaco, aplicou-se uma tensão de 3V e certificou-se que a corrente era nula.

2. A luz branca foi posicionada a uma distância fixa com um suporte, de forma que a corrente gerada fosse igual a 30 nA. Feito isso, aplicou-se uma tensão de retardo e registramos os pontos a cada redução de 5 nA na corrente, até que ela fosse nula. Os valores de tensão medida em cada um dos pontos foi registrada em uma tabela.

3. Esse procedimento foi repetido utilizando todos os filtros e LEDs disponíveis. A cada alteração na fonte de luz, a posição da fonte foi ajustada para gerar os mesmos 30 nA iniciais.

4. Os dados coletados foram analisados graficamente para se obter a constante de Planck e a função trabalho.

Resultados e Discussão

Os dados obtidos foram dispostos na Tabela 1 abaixo:

Led/Filtro	Tensão (V) medida para as correntes:						Tensão de corte (0nA)	Comprimento de Onda de Pico (nm)	Frequência (10^{14} Hz)	
	30nA	25nA	20nA	15nA	10nA	5nA				
Vermelho	0,0	0,05	0,09	0,13	0,18	0,23	0,35	653	4,594	
Laranja	0,0	0,08	0,13	0,17	0,22	0,30	0,47	595	5,042	
Verde	0,0	0,08	0,15	0,21	0,29	0,39	0,76	558	5,376	
Violeta	0,0	0,10	0,18	0,25	0,35	0,48	0,86	396	7,576	
Azul	0,0	0,12	0,19	0,27	0,36	0,50	0,88	475	6,316	
Branco/Sem filtro	0,0	0,10	0,16	0,23	0,34	0,47	0,91	460	6,522	
Branco/Filtro Amarelo	0,0	0,08	0,15	0,20	0,27	0,37	0,66	541	5,545	
Branco/Filtro Azul	0,0	0,11	0,18	0,26	0,36	0,51	0,90	460	6,522	
Branco/Filtro Verde	0,0	0,09	0,15	0,20	0,27	0,37	0,72	537	5,587	
Branco/Filtro Laranja	0,0	0,08	0,14	0,20	0,26	0,36	0,70	556	5,396	
Branco/Filtro Magenta	0,0	0,10	0,17	0,25	0,34	0,48	0,91	460	6,522	
Branco/Filtro Ciano	0,0	0,10	0,18	0,26	0,35	0,49	0,94	460	6,522	
Branco/Filtro Vermelho	Não foi possível medir com o filtro vermelho.								663	4,525

Tabela 1: Dados coletados de tensão no fototubo para cada corrente e cada fonte de luz utilizada, com as respectivas frequência e comprimento de onda.

Os dados de tensão em função da corrente foram colocados em dois gráficos separados, sendo um com os dados dos diferentes filtros utilizados (Gráfico 1) e outro com os dados referentes aos LEDs (Gráfico 2). Um terceiro gráfico foi feito com os dados de todas as fontes com propósito de comparação entre os dois tipos de fonte. Esses gráficos foram colocados na página seguinte.

Pelos Gráficos 3, que mostra todas as fontes utilizadas, observamos claramente a relação entre a frequência da onda emitida e o potencial de corte, de forma que fontes com mais altas frequências possuem um maior potencial de corte, como foi previsto pela equação 3.

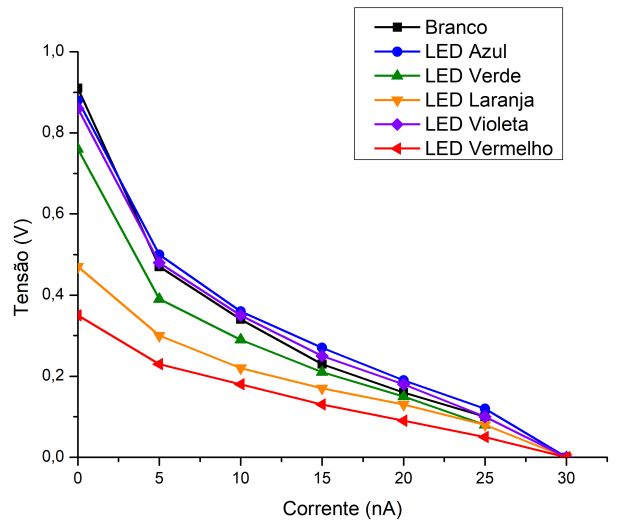
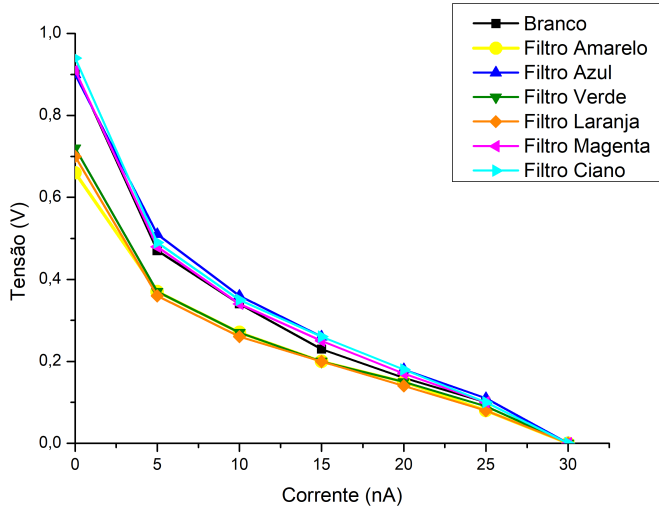


Gráfico 1: Dados da tensão em função da corrente para todos os filtros utilizados.

Gráfico 2: Dados de tensão em função da corrente para todos os LEDs utilizados.

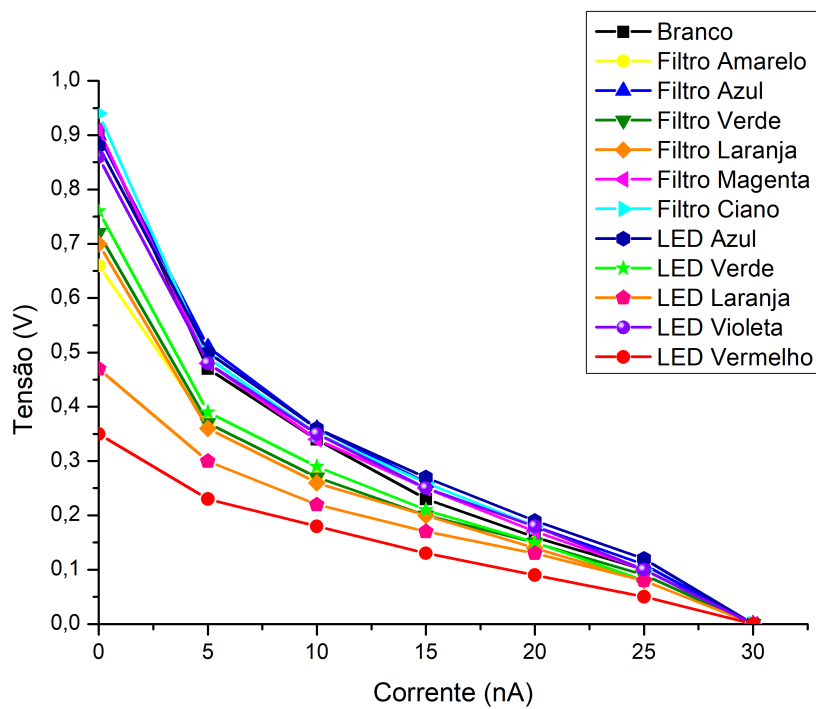


Gráfico 3: Dados de tensão pela corrente com todas as fontes utilizadas (filtros e LEDs).

① potencial de corte é aquele em que a corrente é nula, e são os pontos que, no gráfico, cortam o eixo da tensão.

Em seguida, utilizando as tensões de corte e as respectivas frequências de onda, podemos calcular a constante de Planck e a função trabalho do material do fototubo. Isso foi feito a partir de um ajuste linear em um gráfico de Tensão de corte em função da Frequência da onda. Pela equação 3, isso nos dá:

$$V_c = \frac{h}{e} \nu - \frac{w_0}{e}$$

A equação da reta é: $y = ax + b$

Portanto: $a = \frac{h}{e}$ é o coeficiente angular obtido

e $b = \frac{w_0}{e}$, sendo $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C a carga do elétron.

① Os gráficos de Tensão de corte (V_c) em função da frequência foram feitos separadamente para os LEDs, os filtros e, finalmente, para todas as fontes juntas. Esses gráficos foram colocados na página a seguir.

Para o gráfico 4, obtemos: $a = 0,22 \cdot 10^{-14}$ e $b = -0,50 \pm 0,12$
 $\Rightarrow h = 0,22 \cdot 10^{-14} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 3,52 \cdot 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ Kg} / \text{s}$

$$e \quad w_0 = -(-0,50) = 0,50 \pm 0,12 \text{ eV}$$

$$\begin{cases} h = (3,52 \pm 0,32) \cdot 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ Kg} / \text{s} \\ w_0 = 0,50 \pm 0,12 \text{ eV} \end{cases}$$

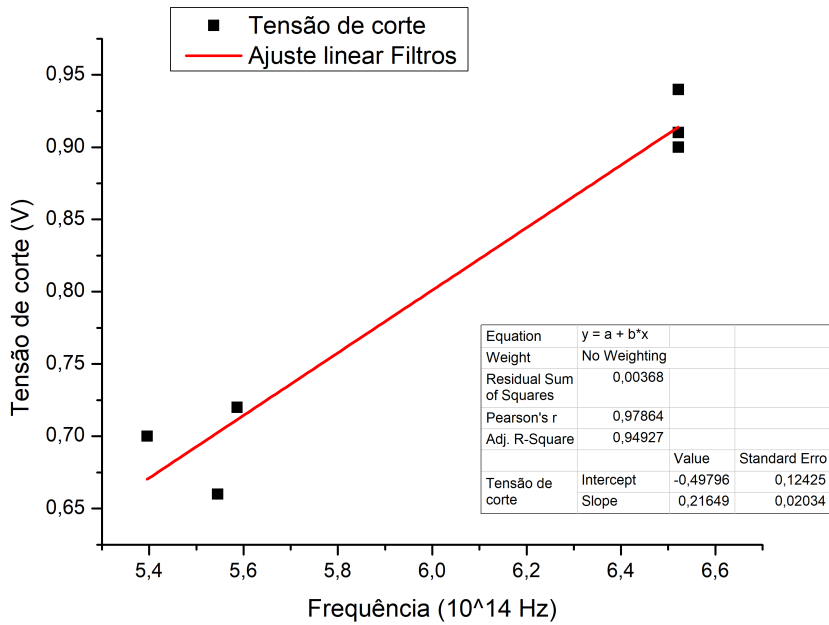


Gráfico 4: Valores de Tensão de corte em função da frequência para os filtros.

Gráfico 5: Valores de Tensão de corte em função da frequência para os LEDs utilizados.

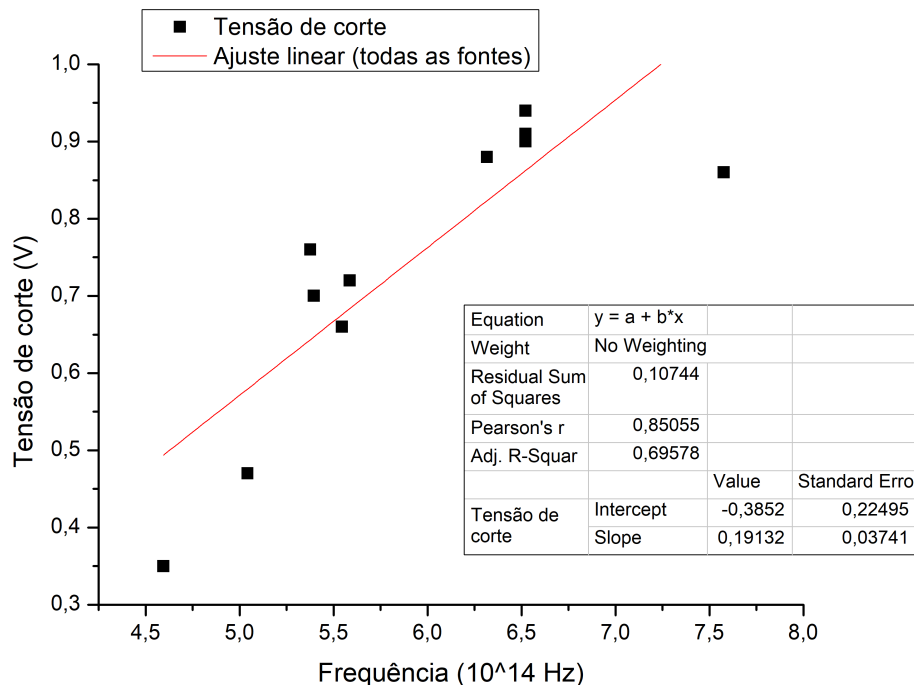
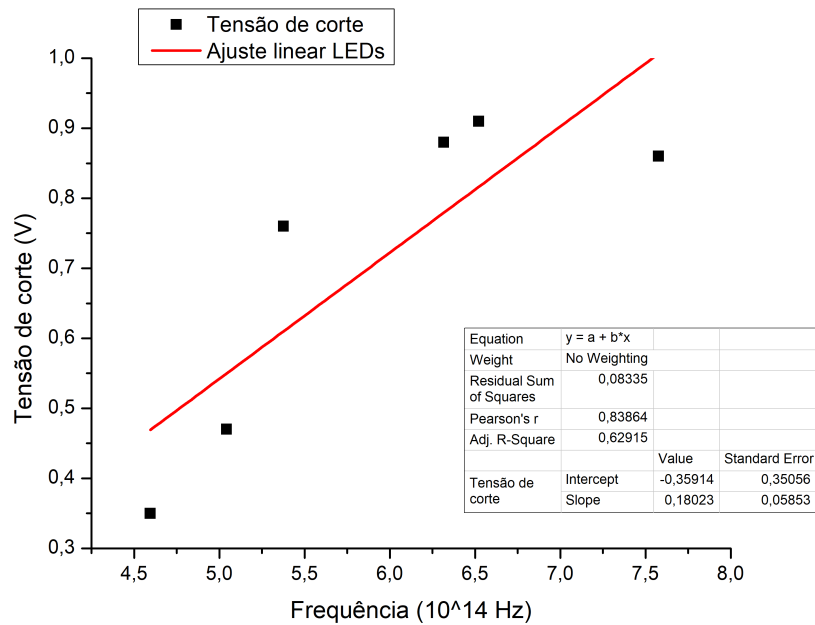


Gráfico 6: Valores de Tensão de corte em função da frequência para todas as fontes luminosas usadas.

Para o Gráfico 5: $a = 0,18 \cdot 10^{-14} \pm 0,058 \cdot 10^{-14}$ e $b = -0,36 \pm 0,35$
 $\Rightarrow h = 0,18 \cdot 10^{-14} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 2,88 \cdot 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg/s}$

$$\left\{ \begin{array}{l} w_0 = 0,36 \pm 0,35 \text{ eV} \\ h = (2,88 \pm 0,9) \cdot 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg/s} \end{array} \right.$$

Para o Gráfico 6: $a = (0,19 \pm 0,04) \cdot 10^{-14}$ e $b = -0,38 \pm 0,2$

$$\Rightarrow h = 0,19 \cdot 10^{-14} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = (3,04 \pm 0,6) \cdot 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg/s}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} h = (3,04 \pm 0,6) \cdot 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg/s} \\ w_0 = 0,38 \pm 0,2 \text{ eV} \end{array} \right.$$

Podemos calcular o erro relativo do valor calculado da constante de Planck considerando seu valor teórico de $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg/s}$, e obtemos que:

p/ o Gráfico 4: 53% da medida

p/ o Gráfico 5: 43% da medida

p/ o Gráfico 6: 46% da medida.

Portanto, há um erro considerável no valor calculado para a constante de Planck. Isso está relacionado a alguns fatores, como o fato de as fontes utilizadas não serem monocromáticas, e apresentarem picos de intensidade em uma larga faixa de frequências, o que reduz a precisão do valor utilizado nos cálculos. Fontes de frequência de onda mais precisa nos permitiriam cálculos de maior exatidão. Devemos também considerar a sensibilidade do voltímetro utilizado, que possui uma incerteza associada.

Por fim, devemos avaliar uma divergência entre os valores obtidos para a função trabalho através dos diferentes gráficos.

A partir de buscas na literatura, podemos considerar que o material do fototubo é um metal semi-condutor, apesar de não ser possível especificar o material em razão da imprecisão associada aos resultados.

8. O fototubo é constituído por um cátodo e um ânodo dentro de um tubo preenchido a vácuo, no qual podemos registar passagem de corrente ao emitir luz, devido ao fato de o fototubo detectar radiação e gerar emissão de elétrons do material que compõe o cátodo. A fotocélula é um dispositivo sensível à radiação eletromagnética, usado no controle da iluminação de ambientes, por exemplo.

9. Como discutido anteriormente, devido à imprecisão associada à medida, não é possível afirmar com exatidão o material que compõe o fototubo, porém, visto que os valores obtidos da função trabalho são baixos, é possível dizer que se trata de uma função de um metal com um semicondutor.

10. Esse item já foi discutido anteriormente e, pelo gráfico 3, podemos afirmar que sim.

11. Deve ser empregado o comprimento de onda correspondente ao maior pico de intensidade, pois essa frequência está relacionada à maior parte da energia dos fótons emitidos, ainda que existam fótons com diferentes energias, relacionados aos demais picos.

Conclusão

Os experimentos nos permitiu verificar a ordem de grandeza da constante de Planck, que coincidiu com o valor teórico esperado; ainda que seu valor tenha sido bastante inexato devido às incertezas experimentais. Além disso, pudemos concluir sobre o material absorvedor do fototubo apenas que é constituído de uma junção de um metal com um semicondutor. No mais, pudemos observar o efeito fotoelétrico.

Referências

• Eisberg, R. e Resnick, R. - Física Quântica: Átomos, moléculas, Sólidos, núcleos e Partículas. (1979).