
Emissão LED, *quantum* de luz e efeito fotoelétrico

1 Objetivo

- Estudo do efeito fotoelétrico.
- Estudo da dependência do potencial de paragem da corrente fotoelétrica no comprimento de onda da luz incidente.
- Determinação do trabalho de extração de um eletrão do material e do valor da constante de Planck.
- Familiarização com espectrómetros e emissão LED.

2 Introdução

Quando radiação eletromagnética de frequência ν incide num metal cada fotão, de energia $h\nu$ (h -constante de Planck), é integralmente absorvido por um eletrão do metal, o qual é libertado se a energia do fotão exceder a energia de ligação do eletrão no metal (W).

Assim a condição para a existência de efeito fotoelétrico é pois $h\nu \geq W$. O excesso de energia aparece sob a forma de energia cinética do eletrão libertado:

$$h\nu - W = \frac{1}{2}mv^2. \quad (1)$$

Os eletrões emitidos pelo cátodo (K) são recolhidos num elétrodo coletor, dando origem a uma corrente eléctrica I , normalmente muito reduzida, num circuito exterior. Colocando o coletor a um potencial negativo V relativamente ao emissor, o valor desta corrente pode ser reduzido e mesmo anulado ($I=0$). O valor do potencial antagonista para o qual se anula a intensidade de corrente é designado como potencial de paragem (V_c). Por conservação de energia, a equação anterior pode ser escrita de forma a expressar o potencial de paragem em função da frequência da radiação de excitação como:

$$eV_c = \frac{1}{2}mv^2 = h\nu - W \quad (2)$$

O estudo de $V_c(\nu)$ permite determinar a constante de Planck h e o “trabalho de extração” característico do metal W .

Nesta experiência o cátodo emissor é uma liga de Césio-Antimónio (Sb-Cs) em que os electrões de valência estão fracamente ligados ao núcleo, e a função de trabalho W é baixa. O material caracteriza-se por alta sensibilidade na gama de comprimentos de onda entre 185...650 nm, e máxima a 340 nm.

O potencial de paragem será obtido a partir de duas abordagens diferentes: através da determinação do potencial antagonista que anula a corrente fotoelétrica no circuito; transferindo

a energia da corrente fotoelétrica para um condensador em série com a célula fotoelétrica, e determinando o valor de tensão aos terminais do condensador.

Referências

1. Marcelo Alonso, Edward J. Finn, "Fundamental University Physics", Vol.2, Addison-Wesley, 1980.
2. Charles Kittel, "Introduction to Solid State Physics" 8th edition, John Wiley & Sons, 2005.
3. Phywe photo Cell Manual:
<https://repository.curriculab.net/files/bedanl.pdf/06779.00/0677900e.pdf>

3 Equipamento experimental

A realização da experiência requer a utilização de aparelhos de medida que consigam detectar correntes muito pequenas, para que possa determinar-se com alguma precisão a tensão de paragem V_C . Para tal, propõe-se um primeiro contacto com um Electrómetro. Este aparelho consegue medir correntes muito reduzidas, até à região de pico-ampère (10^{-12})! Dada a sua sensibilidade tão elevada, também são muito sensíveis a ruído electromagnético, correntes parasitas, e à qualidade das ligações eléctricas dos circuitos onde é inserido.

3.1 Caracterização dos LEDs

- Espectrómetro óptico (SpectraScan VIS-NIR e UV-VIS, ou similares)
- Software SpectraScan
- protocolo «Medidas com espectrómetro de fibra óptica»
- Fibra óptica Multimodo em Y (2 fibras para 1)

3.2 Experiência efeito fotoelétrico

- Célula fotoelétrica (Phywe PhotoCell - 06779-00)
- Mili voltímetro (Philips PM2436 ou similar)
- Multímetro digital (Kethley ou similar)
- Fonte de Tensão regulável (0-5V)
- Circuito dedicado com potenciómetro
- Caixa de LEDs, de emissão do ultravioleta (UV) ao infravermelho próximo (NIR)

A célula fotoelétrica utiliza como cátodo uma liga de Césio-Antimónio (Sb-Cs), cuja curva de sensibilidade pode ser inspeccionada na figura 1. Do gráfico é visível que a célula opera com radiação luminosa de comprimentos de onda na gama 185–650 nm, e com máxima sensibilidade a 340 nm.

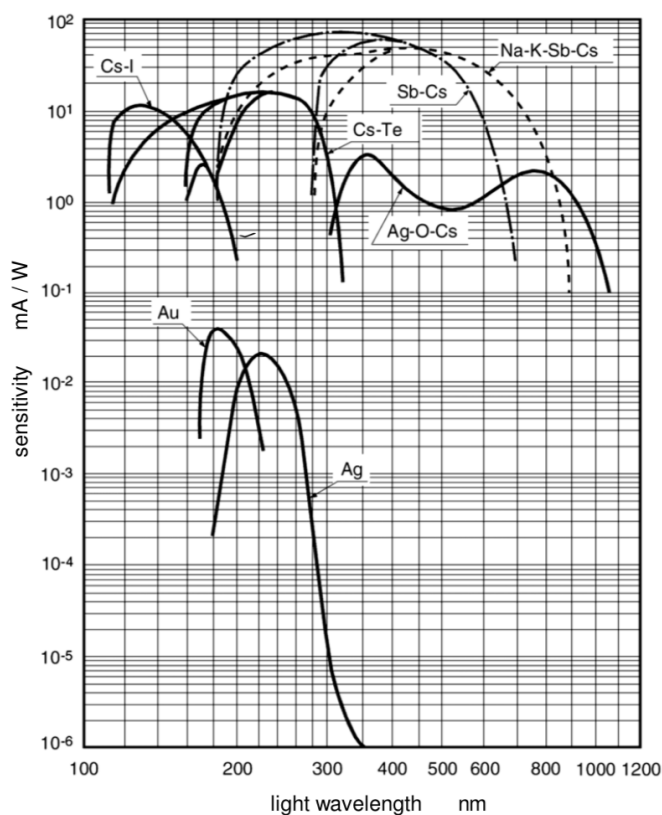


Figura 1: Sensibilidade de diferentes materiais à radiação luminosa. A célula fotoelétrica (Phywe) utiliza um cátodo de Césio-Antimónio (SbCs) [extraído de <http://www.phywe.de>].

4 Execução do trabalho

4.1 Objetivo

- Caracterização espectral da emissão de LEDs
- Estudo da dependência do potencial de paragem da corrente fotoelétrica na frequência da radiação incidente.
- Determinação do trabalho de extração de um eletrão do metal e da constante de Planck.
- Discutir qual a montagem experimental que permite obter uma medida mais robusta e confiável.

4.2 Dispositivo experimental

A célula fotoelétrica está isolada da luz ambiente, dentro de uma caixa.. Para excitar a célula fotoelétrica são utilizados vários LEDs. Os espectros de emissão dos LEDs podem ser obtidos com a ajuda do espectrómetro óptico. O LED emissor é activado por rotação do botão selector: os LEDs vão ligando sequencialmente com a rotação do botão. O circuito de controlo dos LEDs é alimentado a 5Vdc.

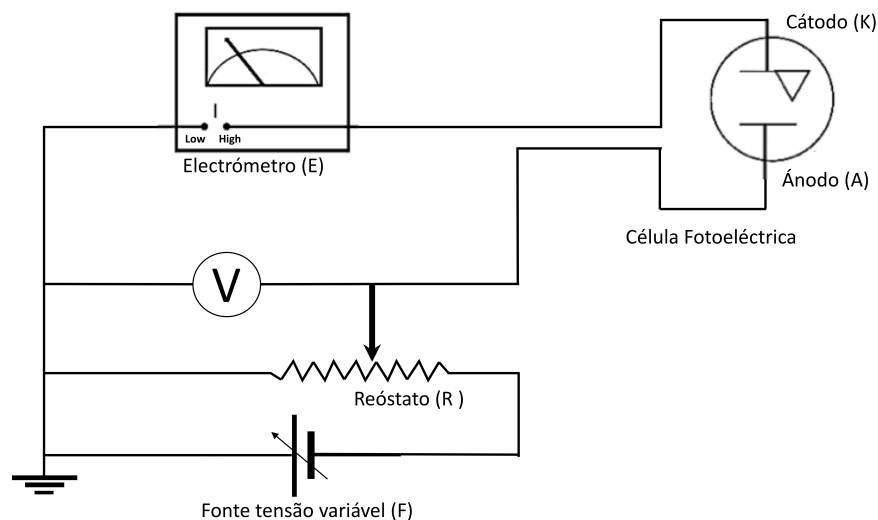


Figura 2: Circuito de medida da corrente fotoelétrica: superfície emissora (cátodo K); coletor de fotoelectrões (ânodo A); R- potenciômetro; F -fonte de tensão variável; V -voltímetro; E -electrômetro.

O circuito de medição da corrente fotoelétrica a montar está esquematizado na figura2. Se o circuito estiver correctamente ligado, o efeito fotoelétrico no emissor deverá originar uma corrente positiva no electrómetro. No entanto, pode acontecer o registo de correntes negativas. Entre as causas possíveis podem estar:

- o efeito fotoelétrico no coletor;

- a passagem de corrente não fotoelétrica originada por um mau isolamento elétrico do circuito de medida, sobretudo em dias húmidos. Se necessário, limpe a célula com acetona, evitando tocar-lhe com as mãos.

4.3 Procedimento experimental

Parte A

1. Monte o circuito eléctrico que interliga célula fotoelétrica, electrómetro, circuito com potenciómetro e fonte de tensão variável, de acordo com o esquema na figura 1.
2. Posicione os LEDs adequadamente junto à célula fotoelétrica.
3. Utilizando o comutador selecione um dos LEDs disponíveis e garanta o isolamento da célula fotoelétrica relativamente à luz ambiente.
4. Procure um valor aproximado da tensão de paragem: começando nas escalas menos sensíveis, vá ajustando o potencial de paragem de modo a reduzir a corrente; à medida que se aproxima da corrente nula, aumente a sensibilidade do electrómetro e repita o procedimento. escolha a escala de sensibilidade maior que lhe permita realizar as medições para a determinação da corrente nula - recomenda-se que mantenha a escala constante ao longo das medidas para evitar erros associados a mudanças de escala .
5. Repita o procedimento para todos os LEDs disponíveis , garantindo que regista valores suficientes de $I(V)$ de forma a identificar claramente o patamar de anulação de corrente fotoelétrica.
6. Para cada LED determine o respectivo potencial de paragem V_c através da análise da curva $I(V)$.
7. Finalmente, analise os dados $V_c(\nu)$ e determine o valor de h e W .

[... continua na próxima página!]

Parte B

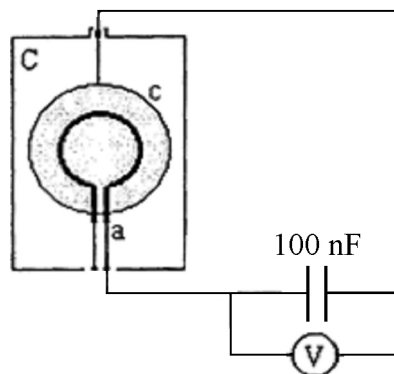


Figura 3: Circuito de medida do potencial de paragem. C -célula fotoelétrica; V -voltímetro; nesta abordagem o potencial de paragem é obtido pelo condensador, que carrega até a sua diferença de potencial ser igual ao potencial de paragem

1. Altere a montagem de acordo com o esquema da figura 3.
2. Determine o potencial de paragem a partir da diferença de potencial nos terminais do condensador para cada um dos LEDs disponíveis.
3. Construa o gráfico $V_c(\nu)$ e determine o valor de h e W .

Parte C

1. Obtenha os espectros dos LEDs, recorrendo ao espectrómetro SpectraScan (VIS-NIR e UV-VIS):
 - a) registe a cor percebida e o comprimento de onda correspondente ao pico máximo de cada LED;
 - b) exporte os dados de cada espectro medido para ficheiro de texto, bem identificado para posterior análise.

5 Questões para análise posterior ao trabalho experimental

1. Compare os métodos utilizados na determinação de h e W e comente os resultados obtidos.
2. Qual o impacto da utilização de lâmpadas de descarga, em vez de LEDs ? Comente à luz dos resultados obtidos.
3. Qual o impacto da distância entre a célula fotoelétrica e a fonte de luz? Qual a relação deste parâmetro experimental com a corrente eléctrica medida, e com o potencial antagonista de paragem?