



Efeito fotoeléctrico

Determinação da constante de Planck.

1 OBJECTIVO DO TRABALHO

- Verificação experimental do efeito fotoeléctrico
- Determinação da energia cinética dos fotoelectrões em função da frequência da luz incidente sobre a célula fotoeléctrica
- Determinação da constante de Planck, h

2 INTRODUÇÃO

O efeito fotoeléctrico era já conhecido no final do séc. XIX, com a emissão de partículas carregadas da superfície de um metal quando iluminadas por luz intensa. No entanto verificou-se que a energia destas partículas, que mais tarde foram indentificadas por electrões, não dependia da intensidade mas sim do comprimento de onda da luz incidente. A intensidade só determina o número de fotoelectrões emitidos. A explicação correcta do efeito fotoeléctrico foi proposta em 1905 por Einstein¹ baseada na teoria de Max Planck² da emissão-absorção da luz.

$$E = h\nu = K_e^{max} + W_O \quad (1)$$

Em que K_e^{max} é a energia cinética máxima dos fotoelectrões e W_O é a energia necessária para remover os electrões da superfície do material (*Work function*, característica de cada metal). E é então a energia do quantum de luz que se batizou como *fóton*.

De acordo com esta teoria corpuscular da luz, quando um fóton incide sobre a superfície de um sólido é absorvido por um átomo, dá-se a libertação de um dos electrões de valência. A estes electrões tem de ser comunicada uma enegia para que se libertem da rede metálica. Se o fóton incidente tiver mais energia que um limiar (W_O), o fotoelectrão sai do sólido com uma energia cinetica $K_e = h\nu - W_O$. A figura 1 representa esquematicamente o fóton incidente, a superfície do sólido, os níveis de energia dos electrões de valência do material. Note que se a energia do fóton incidente não for suficiente (se $E_f < W_O$) não há emissão de fotoelectrões.

A constante de Planck pode ser determinada expondo a superfície de um metal a luz monocromática, caracterizada por um comprimento de onda $\lambda = c/\nu$, e medindo a energia cinética máxima dos fotoelectrões emitidos. A fig. 2 representa esquematicamente uma montagem experimental para a realização desta experiência.

¹Pela qual recebeu o prémio Nobel em 1921.

²Teoria Quântica da luz, pela qual recebeu o prémio Nobel em 1918.

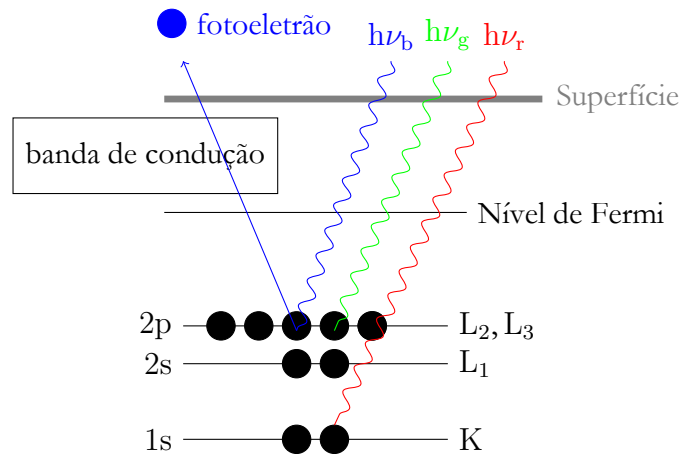


Figura I – Efeito fotoelétrico

A luz incide na superfície de metal, designado *cátodo* (K), através de um *ânodo* anelar ou transparente. Como cátodo é normalmente utilizado um metal alcalino (K, Na, Cd) pois neste caso os electrões de valência estão fracamente ligados ao núcleo (i.e. têm uma função trabalho W baixa). Como ânodo utiliza-se por exemplo a platina (Pt). O ânodo recebe parte dos fotoelectrões emitidos dando origem a uma corrente I_f . Se aplicarmos um potencial eléctrico retardador V entre o ânodo e o cátodo a fotocorrente decresce, pois os fotoelectrões terão de vencer uma barreira de potencial eletrostática $U = Ve$, onde e é a carga do electrão. Para uma dada tensão crítica V_s (potencial de paragem), deixa de existir fotocorrente. Neste caso, mesmo os electrões mais fracamente ligados e que assim têm as maiores energias cinéticas, são parados. Experimentalmente pode-se usar uma fonte de tensão externa para aplicar o potencial de paragem ou mais simplesmente usa-se um condensador que carrega com a própria corrente dos fotoelectrões (Fig. 2) até esta ser eliminada. Neste caso é necessário utilizar um voltímetro de muito elevada impedância de entrada, ou um amplificador electrónico de instrumentação, que é o caso da nossa experiência.

Após medir o potencial de paragem, podemos assim escrever³:

$$e V_s = K_e^{max} = h\nu - W_O \quad (2)$$

Medindo o potencial de paragem para varias frequências da luz incidente, podemos então fazer o gráfico de V_s vs ν . Este gráfico é uma recta de declive h/e , e ordenada na origem $-W/e$.

A constante h é uma das constantes físicas fundamentais que se conhece com maior precisão relativa ($u_r = 3.4 \times 10^{-8}$). O valor actualmente reconhecido é de $h = 6.62606889(23) \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4.135667516(91) \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$. (Os dígitos em parentises representam a incerteza, tendo a mesma resolução dos dois últimos dígitos do valor). A contínua procura de um valor mais preciso não é apenas um puro desafio intelectual da comunidade científica. Terá um efeito prático revolucionário na Metrologia: Como h se pode relacionar com N_A , quando se conhecer com maior precisão⁴ será possível definir a unidade padrão de massa do sistema S.I. a partir da massa de um determinado átomo elemento químico, e portanto válido para todo o Universo. O padrão de massa oficial é o último

³Na realidade a função de trabalho tem de ser corrigida pelo potencial de contacto entre os dois metais, $W = W_O - \phi$, o que naturalmente não é importante para a determinação da constante de proporcionalidade.

⁴O dispositivo mais preciso é a balança de Watt, onde se espera chegar à precisão de $u_r \sim 1 \times 10^{-11}$

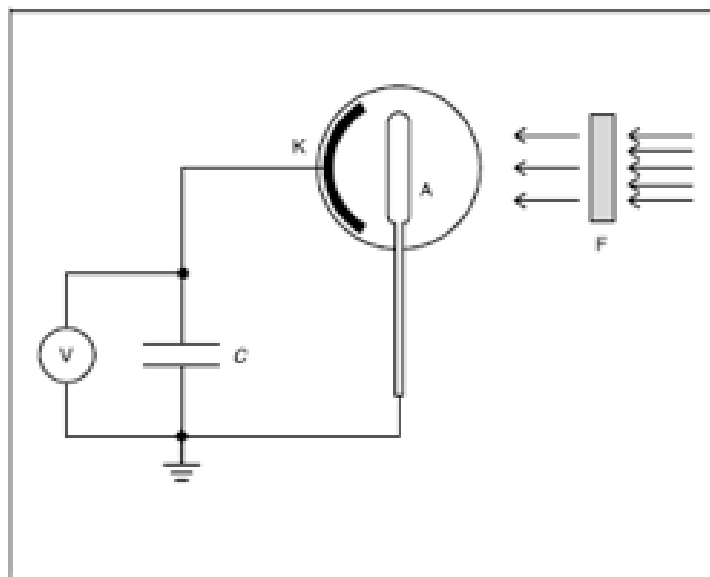


Figura 2 – Diagrama esquemático da experiência do efeito fotoelétrico

resistente do sistema MKS que é baseado num “artefacto”; um cilindro de platina-irídio guardado a sete chaves em Sèvres nos subúrbios de Paris⁵.

3 Procedimento Experimental

1. Ligue a fonte de lampada de Mercúrio (Hg) e deixe estabilizar durante cerca de 10 min.
2. Teste as alimentações do amplificador da célula fotovoltaica.
3. Monte os componentes tal como indicado na Fig. 4
4. Regule o conjunto de lente + rede de Difração de modo a obter as riscas de côr bem focadas na zona do detector. Alinhe a montagem para que a célula seja bem iluminada pelo feixe depois de passar pela fenda.
5. Observe as várias riscas, anote e interprete os ângulos de Difração e Ordem. A figura é simétrica no que toca às posições e intensidade?
6. Para cada uma das riscas depois de pressionar o botão de RESET, anote o valor da tensão de paragem e o tempo aproximado de estabilização.
7. Repita o ponto anterior duas côres e com pelo menos dois filtros de transmissão.

Côr	Freq [THz]	λ [nm]
Amarelo	518.672	578
Verde	548.996	546.074
Azul	687.858	435.835
Violeta	740.858	404.656
U.V.	820.264	365.483

Tabela I – Riscas observáveis do espectro de Mercúrio

⁵Ver por exemplo o artigo da revista *Economist* <http://www.economist.com/node/18007494>

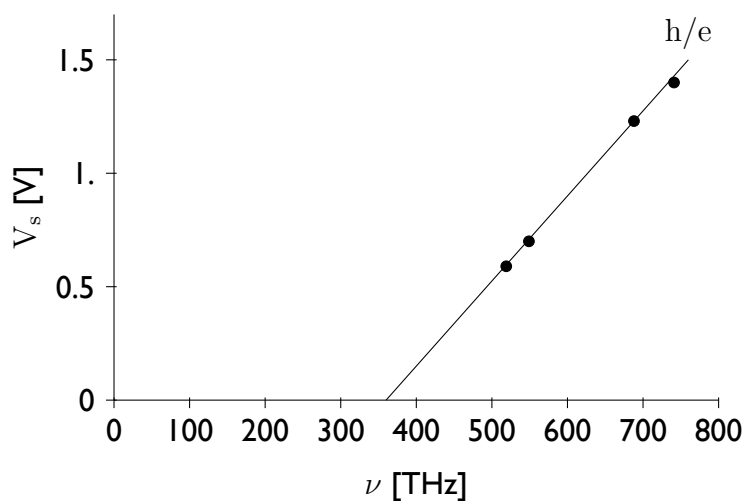


Figura 3 – Exemplo da determinação de h pelo Efeito fotoelétrico

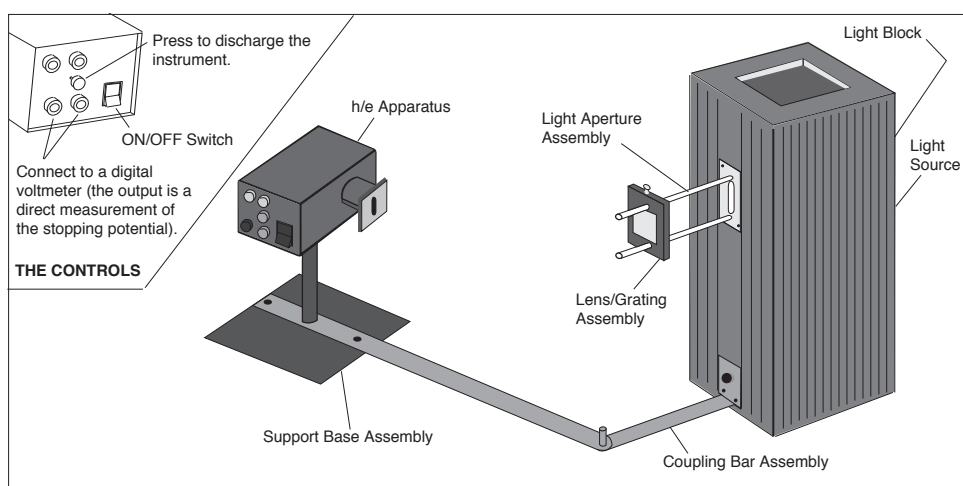


Figura 4 – Montagem Experimental do efeito fotoelétrico

Pode consultar o espectro de Mercúrio em [NIST Atomic Spectra Database](#), escolhendo o elemento “Hg I” e um *Relative intensity minimum*: de 1000, por exemplo.