



---

# Efeito fotoelétrico

## Determinação da constante de Planck.

---

### 1 OBJECTIVO DO TRABALHO

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

### 2 INTRODUÇÃO

O efeito fotoelétrico 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 fotoelétrico foi proposta em 1905 por Einstein<sup>1</sup> baseada na teoria de Max Planck<sup>2</sup> 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*.

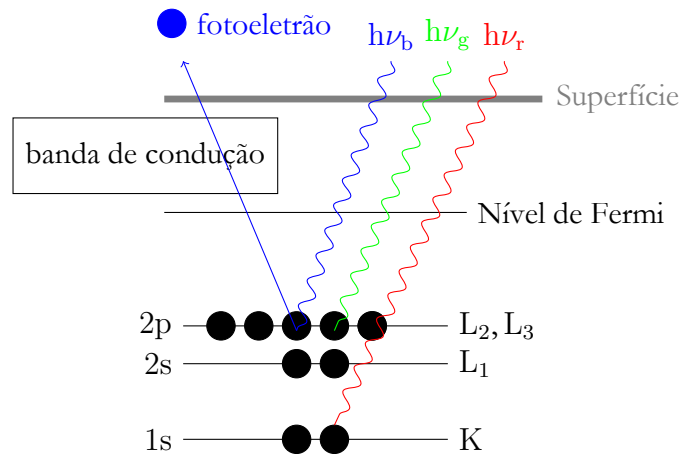
De acordo com esta teoria corpuscular da luz, quando um fóton incide sobre a superfície de um sólido é absorvido por um átomo, dá-se a libertação de um dos electrões de valência. A estes electrões tem de ser comunicada uma enegia para que se libertem da rede metálica. Se o fóton incidente tiver mais 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.

---

<sup>1</sup>Pela qual recebeu o prémio Nobel em 1921.

<sup>2</sup>Teoria 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 electrostática  $U = Ve$ , 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 escrever<sup>3</sup>:

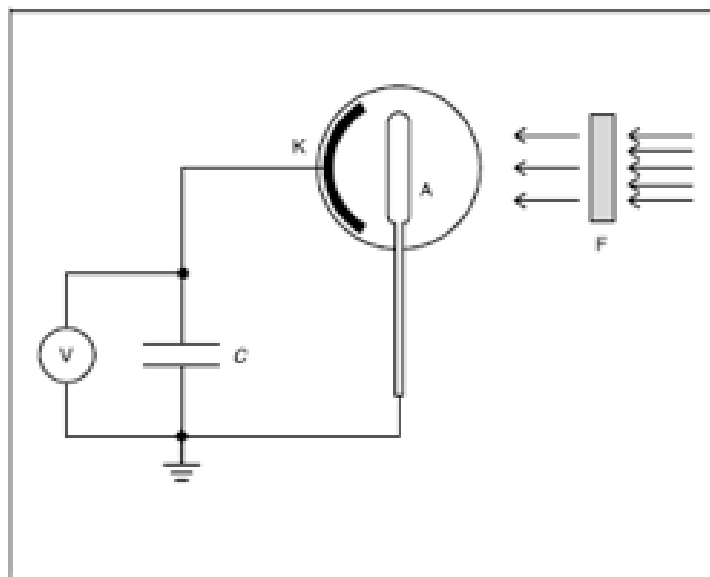
$$e V_s = K_e^{max} = h\nu - W_O \quad (2)$$

Medindo o potencial de paragem para varias frequências da luz incidente, podemos então fazer o gráfico de  $V_s$  vs  $\nu$ . 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 precisão<sup>4</sup> 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

<sup>3</sup>Na 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.

<sup>4</sup>O 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

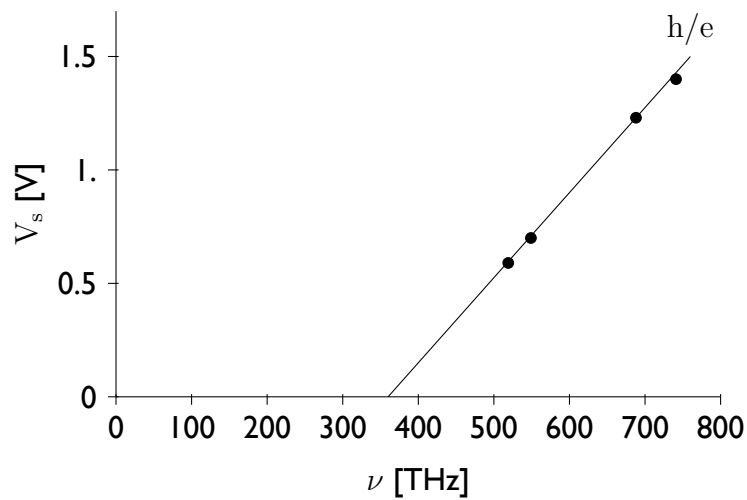
resistente do sistema MKS que é baseado num “artefacto”; um cilindro de platina-irídio guardado a sete chaves em Sèvres nos subúrbios de Paris<sup>5</sup>.

### 3 Procedimento Experimental

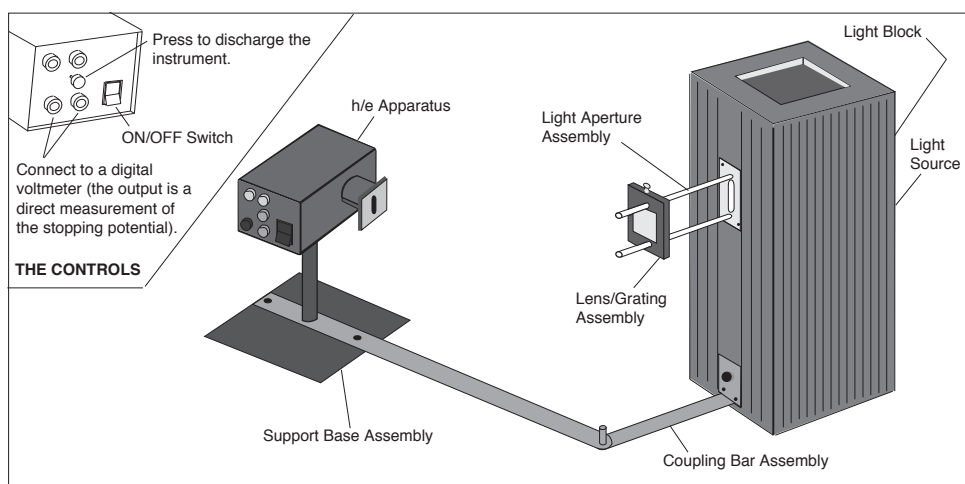
1. Ligue a fonte de lâmpada de Mercúrio (Hg) e deixe estabilizar durante cerca de 10 min.
2. Enquanto espera, teste as tensões das duas baterias do amplificador da célula fotovoltaica.
3. Monte os componentes tal como indicado na Fig. 4
4. Regule o conjunto de lente + rede de Difração de modo a obter 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 intensidades observadas?
6. Para cada uma das riscas, depois de pressionar o botão de RESET, anote o valor da tensão de paragem e o tempo aproximado até esta estabilizar.
7. Repita o ponto anterior para outras duas riscas (côres) e com pelo menos dois filtros de transmissão.

Pode consultar o espectro de Mercúrio em [NIST Atomic Spectra Database](http://www.nist.gov/pml/data/xray/index.cfm), escolhendo o elemento “Hg I” e um *Relative intensity minimum*: de 1000, por exemplo.

<sup>5</sup>Ver por exemplo o artigo da revista [Economist](http://www.economist.com/node/18007494) <http://www.economist.com/node/18007494>



**Figura 3** – Exemplo da determinação de  $h$  pelo Efeito fotoelétrico



**Figura 4** – Montagem Experimental do efeito fotoelétrico

Côr	Freq [THz]	$\lambda$ [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