



---

# 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. Verificou-se também que a energia destas partículas, que mais tarde foram identificadas por electrões, não dependia da intensidade da luz incidente mas sim do seu comprimento de onda,  $\lambda$ . A explicação correcta do efeito fotoeléctrico foi proposta em 1905 por Einstein<sup>1</sup> baseada na teoria de Max Planck<sup>2</sup> da emissão-absorção da luz. Para ambos, a luz seria formada pela emissão de corpúsculos (quantuns), que se batizaram como *fótons*, cada um com energia  $E$  dada por:

$$E = h\nu \quad (1)$$

em que  $h$  é apropriadamente a *constante de Planck* e  $\nu$  a frequência da luz ( $\nu = c/\lambda$ ).

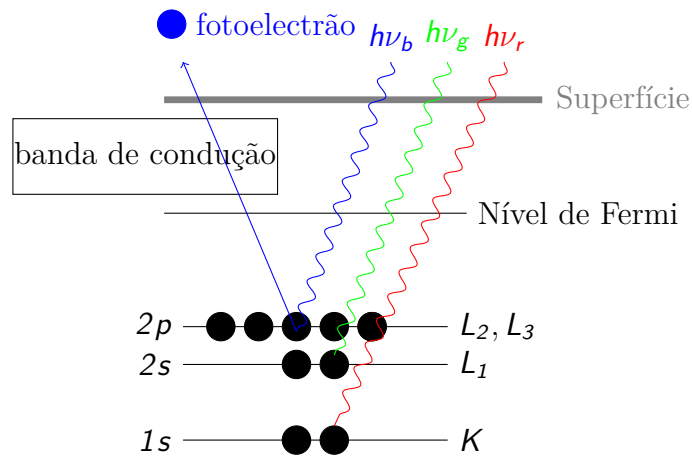
De acordo com esta teoria corpuscular da luz, quando um fóton incide sobre a superfície de um metal é absorvido por um átomo, e a sua energia é depositada num dos electrões de valência. Se o fóton incidente tiver mais energia que um dado limiar ( $W_O$  - *Work function*, característica de cada metal), o electrão é libertado da rede metálica e emitido do sólido com uma energia cinética  $K_e = h\nu - W_O$ . A intensidade da luz determina assim o *número de fotoelectrões* emitidos, mas não a sua energia!

A figura 1 representa esquematicamente o fóton incidente, a superfície do sólido, e os níveis de energia dos electrões de valência do material. Note que se a energia do fóton incidente não for suficiente (i.e. se  $E_f < W_O$ ) não há emissão de fotoelectrões.

---

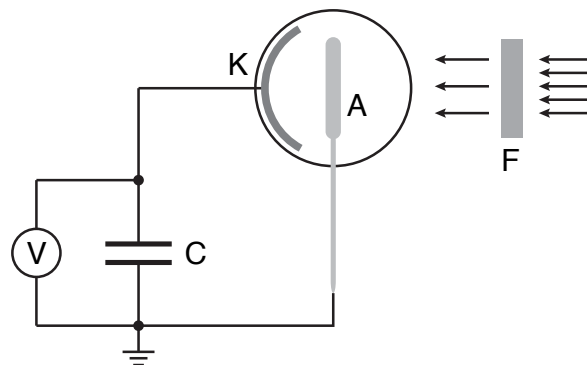
<sup>1</sup>Pela qual recebeu o prémio Nobel em 1921.

<sup>2</sup>Teoria Quântica da luz, pela qual recebeu o prémio Nobel em 1918.



**Figura 1** – Efeito fotoelétrico

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



**Figura 2** – Diagrama esquemático da experiência do efeito fotoelétrico. V - fonte de tensão (potencial retardador); C - condensador; K - cátodo; A - ânodo; F - filtro óptico.

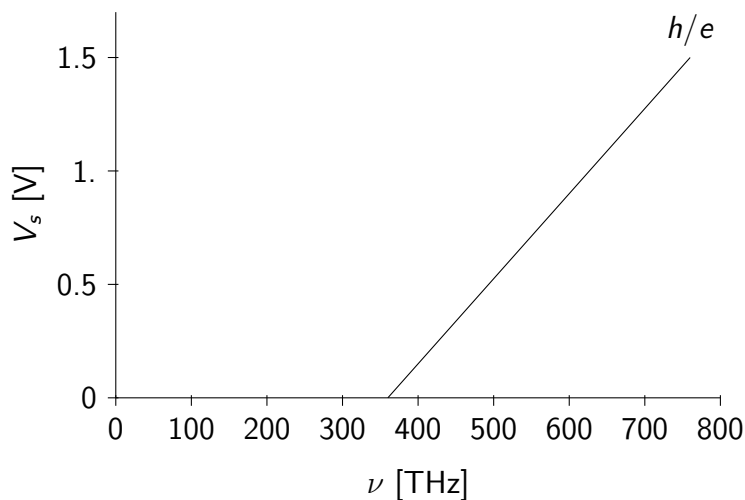
A luz incide na superfície de um sólido metálico, designado *cátodo* (K), através de um *ânodo* (A) anelar ou transparente. Como cátodo, é normalmente utilizado um metal alcalino (potássio, sódio ou cádmio) pois neste caso os electrões de valência estão fracamente ligados ao núcleo (i.e. têm uma baixa função trabalho  $W_O$ ). Como ânodo, utiliza-se por exemplo a platina (Pt). O ânodo recebe parte dos fotoelectrões emitidos, dando origem a uma corrente  $I_f$  no circuito exterior. 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  $U = eV$ , onde  $e$  é a carga do electrão. Para uma dada tensão crítica  $V_s$  (potencial de paragem), deixa de existir fotocorrente.

Experimentalmente, pode usar-se uma fonte de tensão externa para aplicar o potencial de paragem. Mais simplesmente, pode usar-se um condensador para acumular a carga ( $q = CV$ ) transportada pela própria corrente dos fotoelectrões (Fig. 2), aumentando gra-

dualmente a diferença de potencial  $V$ , até se atingir o valor  $V_s$ , para o qual a corrente é auto-eliminada. Mas neste caso, é necessário utilizar um voltímetro de impedância de entrada muito elevada ( $> 10 \text{ M}\Omega$ ) ou um amplificador electrónico de instrumentação, que é o caso da nossa montagem experimental. 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 sucessivamente para luz incidente de várias frequências, podemos então fazer o gráfico de  $V_s$  vs.  $\nu$ . Este gráfico deverá aproximar-se de uma recta de declive  $h/e$  e ordenada na origem  $-W/e$ .



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

A constante  $h$  é uma das constantes físicas fundamentais que se conhecem com maior precisão. O valor padrão actual é de  $h = 6.626\,070\,040(81) \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} = 4.135\,667\,662(25) \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$  (os dígitos entre parênteses representam a incerteza com a mesma resolução dos dois últimos dígitos do valor). A contínua procura de um valor mais preciso não é apenas um desafio intelectual da comunidade científica, pois terá um efeito revolucionário na ciência da Metrologia e todas as suas aplicações: Como  $h$  se pode relacionar com o número de Avogadro  $N_A$ , quando se conhecer com maior precisão<sup>4</sup> será possível redefinir a unidade padrão de massa do Sistema Internacional, a partir de um único átomo de um elemento químico, válido e diretamente utilizável em todo o Universo. O padrão oficial actual de massa (kg) é o último “resistente” do sistema MKS que é baseado num artefacto: um cilindro de platina-irídio guardado a “sete chaves” em Sèvres, nos arredores de Paris<sup>5</sup>.

<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  $u_r \sim 1 \times 10^{-11}$

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

### 3 Procedimento Experimental

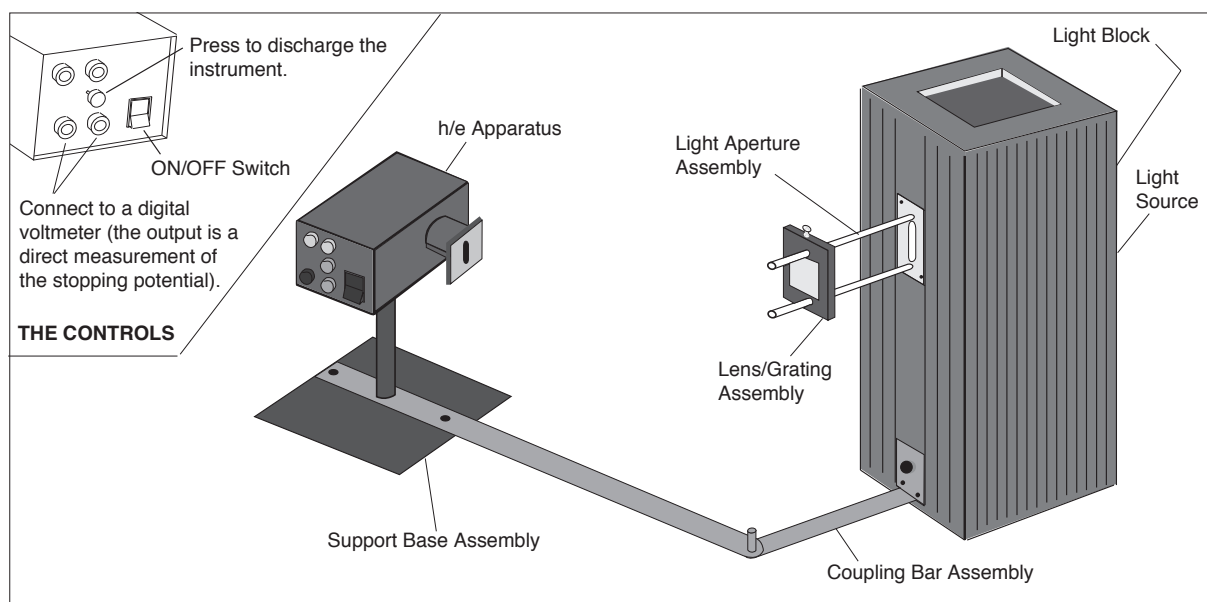
**Atenção:** este trabalho envolve o uso de lâmpadas espectrais. Estas lâmpadas são uma fonte de radiação ultravioleta, que tem efeitos nocivos nos olhos e na pele. Apesar das lâmpadas existentes no laboratório terem uma potência de emissão relativamente baixa, deve-se evitar a exposição desnecessária ou a observação prolongada da sua luz.

1. Ligue a fonte de lâmpada de Mercúrio (Hg) e deixe estabilizar durante cerca de 10 minutos.
2. Enquanto espera, teste as tensões de cada uma das duas pilhas 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 cor bem focadas na zona do detector. Alinhe a montagem da fenda para que a célula esteja bem iluminada e centrada na risca.
5. O que observa depois da rede é uma *figura de difração*. Esta figura é simétrica (esquerda/direita) no que respeita às posições das riscas e das intensidades observadas? Quantas ordens de difração consegue identificar?
6. Para cada uma das riscas (cores) pressione o botão de RESET e depois anote o valor da tensão de paragem e o tempo aproximado até a tensão estabilizar. Note que ao medir a tensão para as riscas amarela e verde é necessário utilizar os respectivos filtros coloridos.
7. Repita o ponto anterior para outras duas riscas e com pelo menos dois filtros de transmissão.

Cor	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 1** – Riscas observáveis do espectro de Mercúrio.

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.



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