

Revisão Rápida de Efeito Fotoelétrico

Rafael Lopes de Sá

April 14, 2014

1 Resumo

O efeito fotoelétrico consiste num elétron de um metal absorvendo um fóton de forma que esse elétron se torna livre:

$$\text{elétron ligado} + \text{fóton} \rightarrow \text{elétron livre} \quad (1)$$

Se a energia do fóton absorvida pelo elétron for maior que a energia de ligação do elétron com a estrutura metálica, o elétron vai se tornar livre e pode formar uma corrente elétrica. Quase todo problema sobre efeito fotoelétrico se resolve usando conservação de energia. Conceitualmente:

$$\begin{aligned} (\text{energia do fóton}) - (\text{energia gasta para liberar o fóton da estrutura metálica}) = \\ (\text{energia cinética do elétron livre}) + (\text{energia potencial do elétron livre}) \end{aligned} \quad (2)$$

A energia gasta para liberar o fóton da estrutura metálica é algo complicado de se calcular e, em geral, representamos apenas por um símbolo ϕ e pelo nome “função trabalho”. É uma propriedade do metal e não do fóton.

A energia de um fóton é proporcional à sua frequência:

$$E_f = hf, \quad (3)$$

onde h é chamado de **constante de Planck**. A energia cinética é dada pela fórmula familiar:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2. \quad (4)$$

Já a energia potencial depende do seu sistema. Usualmente uma bateria pode ser conectada à célula fotoelétrica criando uma diferença de potencial. O elétron tem que então ir de contra (se o polo positivo da bateria estiver ligado ao catodo) ou a favor (de o polo negativo da bateria estiver ligado ao catodo) esse potencial e gastará ou, respectivamente, receberá uma energia dada por:

$$E_p = Q_e \times V, \quad (5)$$

onde Q_e é a carga do elétron e V é a diferença de potencial da bateria. Colocando todos os conceitos juntos:

$$hf - \phi = E_c + E_p = \frac{1}{2}mv^2 + Q_e V. \quad (6)$$

Algumas coisas a se lembrar:

- No efeito fotoelétrico usual, cada fóton é absorvido por um elétron. Isso quer dizer que se a energia do fóton não for pelo menos a função trabalho ϕ , não haverá corrente elétrica. No caso em que há uma bateria também, a energia do fóton tem que ser, pelo menos, a função trabalho mais a energia potencial provida pela bateria.
- Se o elétron absorver um fóton de energia maior (isto é, de maior frequência), ele sairá com maior energia. Mas **não quer dizer que mais elétrons serão emitidos**.
- Para emitir mais elétron, você precisa de mais fótons. Isso quer dizer uma luz incidente mais intensa.

2 Constantes e unidades

A unidade de energia no Sistema Internacional de unidades é o Joule. 1 J é uma quantidade muito grande para efeitos atômicos e subatômicos. Uma unidade conveniente é o eV. 1 eV é definido como a energia que 1 (um) elétron tem num potencial de 1 (um) Volt. Para converter para o SI, basta usar a carga do elétron:

- $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$,
- $1 \text{ J} = 1/(1.6 \times 10^{-19}) \text{ eV} = 6.24 \times 10^{18} \text{ eV}$,

pela própria definição de eV a carga elétrica fundamental é escrita como $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} = 1 \text{ eV/V}$.

Algumas constantes:

- $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s} = 4.136 \times 10^{-15} \text{ eV s}$,
- $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$.
- $hc = 1240 \text{ eV nm}$

O valor de hc é conveniente porque, muitas vezes, é dado o comprimento de onda (λ) do fóton em vez da frequência. Essas duas quantidades se relacionam por:

$$c = \lambda f, \quad (7)$$

logo, a energia de um fóton com comprimento de onda λ é dada por:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}. \quad (8)$$

Algumas vezes também é conveniente usar eV/c^2 como unidade de massa e eV/c como unidade de momento linear. Nessa unidade, a massa do elétron dada por:

$$m_e = 511 \text{ keV}/c^2. \quad (9)$$

3 Um exemplo típico

A figura abaixo representa o arranjo típico do efeito fotoelétrico:

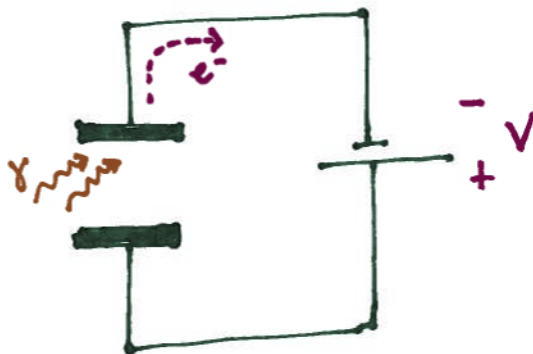


Figure 1: Arranjo típico do efeito fotoelétrico. Note que a luz incide sobre a placa inferior, chamada **ânodo**, enquanto a placa superior, chamada **cátodo**, coleta elétrons que conseguem se libertar do metal do ânodo e estão no vácuo entre as placas. Para mais detalhes veja texto.

A luz incide sobre a placa inferior. Se os fótons tiverem mais energia que a **função trabalho**, isto é, que a energia necessária para liberar os elétrons da estrutura metálica, esses elétrons vão escapar para o vácuo entre as placas, como representado pela seta pontilhada. Contudo, note que há também uma bateria no circuito. Essa bateria faz com que o fio na parte de cima esteja num potencial diferente do fio embaixo. Se assumirmos que o potencial do fio embaixo é 0, o potencial do fio de cima será negativo. Você pode dizer isso pela orientação da bateria: veja que o terminal negativo (linha curta) está ligada ao fio de cima.

Como elétrons são negativos e o potencial é negativo, os elétrons experimentam uma força contra seu movimento. Dito de outra forma, como tanta a carga do elétron quando o potencial elétrico é negativo, então a energia potencial do fio em cima:

$$E_p = Q_E \times V > 0, \quad (10)$$

é positiva. Num análogo gravitacional, é como se houvesse uma montanha que os elétrons tem que subir e eles só conseguem entrar no fio de cima se subirem essa montanha. Isto quer dizer que os elétrons tem que gastar essa energia potencial para conseguir se propagar no fio. Isso, claro, além da energia gasta para se liberar da estrutura metálica (função trabalho). Desta forma, a energia cinética do elétron é dada pela equação (6):

$$E_c = hf - \phi - Q_e \times V. \quad (11)$$

A energia cinética é um número maior ou igual a zero. Quando a energia cinética dos elétrons é zero, isso quer dizer que não há corrente elétrica (os elétrons não chegam no catodo). O potencial para o qual isso acontece é dado por:

$$0 = hf - \phi - Q_e \times V_{\max}. \quad (12)$$

Essa é uma maneira muito conveniente de se medir a função trabalho de um potencial. Dado que você sabe a frequência do fóton e o potencial da bateria em que a corrente cessa (V_{\max}), a função trabalho pode ser encontrada resolvendo a equação acima:

$$\phi = hf - Q_e \times V_{\max}. \quad (13)$$

4 Sobre a energia cinética dos elétrons

Já falamos