

# EFECTO FOTOELECTRICO

## 1 OBJETIVO

- Determinar la constante de Planck.

## 2 EQUIPO

- Fococélula
- Filtros interferenciales
- Lámpara
- Fuente de alimentación
- Amplificador de medida
- Termopar NiCr-Ni
- Reostato
- Cables

## 3 TEORIA

El efecto fotoeléctrico se describió por primera vez por Heinrich Hertz en 1886. Básicamente refleja el hecho de que, cuando se ilumina un metal con luz, sus electrones pueden ser extraídos del metal dando lugar a una corriente medible. El sentido común establece que para sacar los electrones del metal deben de absorber suficiente energía de la luz como para poder superar la función de trabajo del metal,  $W_c$ , que mide la profundidad del potencial que existe entre la superficie del metal y el vacío cercano, y que previene que los electrones escapen del metal por sí mismos. Sin embargo, **hay ciertos aspectos del efecto fotoeléctrico que no pueden entenderse en base a la teoría clásica de la luz**. En concreto:

1. En primero lugar, cuando la intensidad de la luz que ilumina el metal se aumenta, la teoría clásica predice que los electrones liberados deberían de tener más energía. Sin embargo, **los experimentos muestran que la energía máxima de los electrones liberados es independiente de la intensidad de la luz usada**.
2. En segundo lugar, la teoría clásica predice que la energía de la luz depende solo de su amplitud, no de su longitud de onda  $\lambda$ . Por lo tanto, los electrones no deberían ganar mayor o menor energía según  $\lambda$ . No es el caso. Se encuentra que **la energía de los electrones liberados desciende con  $\lambda$  e, incluso, hay un valor umbral,  $\lambda_{\max}$ , por debajo del cual no se mide ninguna corriente**.

3. Finalmente, la teoría clásica predice que si la intensidad del haz se reduce, los electrones absorberán la luz a un ritmo menor, por lo que se necesita un tiempo cada vez mayor para que adquieran la energía necesaria para escapar. Es decir, debería de observarse un retraso entre el momento que se ilumina y cuando se detecta la corriente. Este retraso debería de aumentar de forma inversamente proporcional a la intensidad de la luz. **En los experimentos, sin embargo, no se observa nunca ningún retraso.**

La solución propuesta por Einstein a este enigma fue el sugerir que el haz de luz se comportaba como si fuera una colección de partículas llamadas fotones. También sugirió, siguiendo las ideas de Planck, que la energía de cada fotón debería ser proporcional a la frecuencia de la luz. Es decir,

$$E_{\text{photon}} = h\nu. \quad (1)$$

En esta nueva visión los electrones interaccionarían cada uno con un único fotón, por lo que solamente podrían incrementar su energía en incrementos de  $h\nu$ , la energía del fotón. Esta simple propuesta fue capaz de resolver todas las incongruencias antes mencionadas:

1. Si aumentamos la intensidad del haz, la energía de cada electrón no cambia porque solo se ha aumentado el número de fotones disponibles, no la energía de éstos. Por lo tanto, se liberará un número mayor de electrones, pero todos seguirán teniendo la misma energía cinética. Por lo tanto, el voltaje que hace falta aplicar para cancelar la fotocorriente extraída del metal es el mismo con independencia de la intensidad.
2. Si se reduce  $\lambda$  (o se aumenta  $\nu$ ), aumenta la energía de cada fotón individual. La energía ganada por cada electrón también aumenta y, por tanto, el voltaje a aplicar para cancelar la corriente emitida del metal también aumentará. Además, si se aumenta  $\lambda$  (o se reduce  $\nu$ ) demasiado, la energía del fotón puede hacerse tan pequeña que no sea suficiente para extraer al electrón que la absorba.
3. Puesto que los fotones son partículas localizadas, la energía del haz no está repartida por todo el metal, sino concentrada en la posición de los fotones. Los electrones en dicha localización absorberán la energía sin retraso, aunque haya solamente unos pocos fotones!

## 4 Descripción del experimento

El experimento consiste en la excitación de una corriente eléctrica al iluminar el cátodo de una fotocélula con luz de varias frecuencias. La luz se produce cubriendo una lámpara blanca con varios filtros de interferencia de frecuencia dada. Cuando un fotón con frecuencia  $\nu$  incide en el cátodo, se puede liberar un electrón si la energía del fotón es suficiente para superar la función de trabajo del metal del cátodo,  $W_c$ . Cuando el fotón interacciona con el electrón, ha de conservarse tanto su energía como su momento lineal. La energía para liberarlo es  $W_c$ . Por otro lado, la energía del fotón es  $h\nu$ , con  $h$  siendo la constante de Planck. La diferencia entre ambas, suponiendo que  $h\nu > W_c$ , se la lleva el fotoelectrón en forma de energía cinética. Es decir,

$$h\nu = W_c + W_{\text{kin}}. \quad (2)$$

A continuación, el electrón se moverá hacia el ánodo de la fotocélula, donde será capturado por la función de trabajo del ánodo,  $W_A$ , reduciéndose su energía cinética. El proceso resulta en la formación de una fotocorriente entre el cátodo y ánodo.

Se puede determinar la energía cinética de los electrones,  $W_{\text{kin}}$ , usando el método del campo de frenado. Es decir, se usa un potencial  $U_0$  negativo respecto al cátodo, que se aplica en el ánodo de la fotocélula. Este potencial frena a los electrones liberados, quitándoles una cantidad de energía  $eU_0$ , con  $e = 1.602 \times 10^{-19}\text{C}$  siendo la carga del electrón. De esta forma se puede reducir la fotocorriente  $I$ , ya que no todos los electrones tendrán suficiente energía cinética para llegar al ánodo. El valor de  $U_0$  para el que la fotocorriente desaparece se llama **potencial de frenado**. Esto sucede cuando se cumple:

$$W_{\text{kin}} = eU_0 + W_A - W_c. \quad (3)$$

Combinando las Eqs. 2 y 3, se encuentra que,

$$eU_0 + W_A - W_c = h\nu - W_c. \quad (4)$$

Eliminando ahora la función de trabajo del cátodo, y usando la relación  $\nu = c/\lambda$  (donde  $c = 299792458\text{m/s}$  es la velocidad de la luz),

$$U_0 = \left(\frac{hc}{e}\right) \frac{1}{\lambda} - \frac{W_a}{e}. \quad (5)$$

La Eq. 5 es la relación lineal que se explotará para medir el valor de  $h$ , la constante de Planck. Simplemente hay que medir el potencial de frenado  $U_0$  en función de la longitud de onda de la luz,  $\lambda$ .

## 5 Dispositivo experimental

El experimento para demostrar el efecto fotoeléctrico cuenta con:

- una célula fotoeléctrica, cuyo cátodo se ilumina con un haz de luz de una frecuencia concreta, elegida usando un filtro interferencial de entre los que se proporcionan;
- un potenciómetro que nos permita aplicar un voltaje  $U$  a la célula (negativo o positivo respecto al cátodo);
- un voltímetro para medir  $U$
- un microamperímetro para medir la fotocorriente.

El dispositivo esta ilustrado en la Fig. 1, mientras que las conexiones que es necesario hacer se muestran en la Fig. 2.

Se procederá de la siguiente manera:

1. Colocar el amplificador de medida en modo de baja deriva (low drift), con ampli-ficación a  $10^4$  y la constante de tiempo a 0.3 s. Esto significa que un voltio en el amplificador corresponde a 0.0001V en la entrada y, por tanto, a una fotocorriente de 10 nA. La constante de tiempo se elige para evitar errores.



Figure 1: Dispositivo para medir el efecto fotoeléctrico.

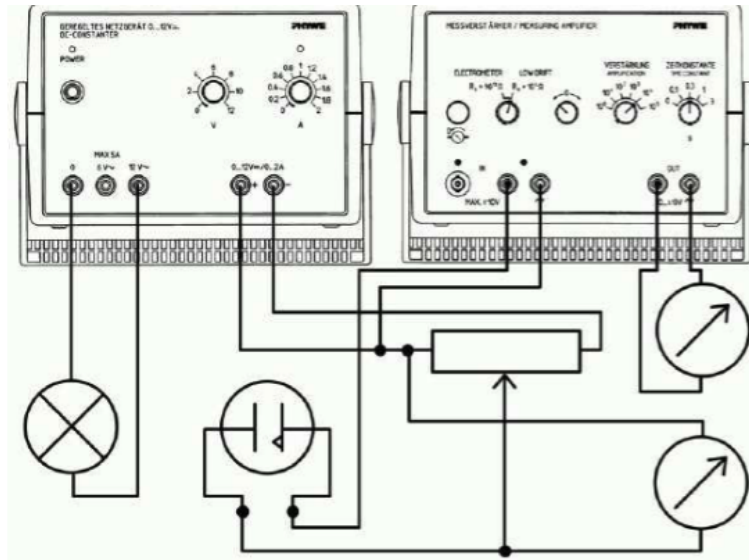


Figure 2: Conexiones a realizar en el experimento.

2. Chequear el cero del amplificador: cuando no esté conectado, la salida del amplificador debería de marcar cero. Si no lo hace, ajustarlo con el control de cero.
3. Elegir un voltaje de 3V en la fuente de potencia, así como una corriente de 1A.
4. Ir fijando, uno tras otro, los filtros interferenciales proporcionados a la entrada de la fotocélula. Al cambiar el filtro, se cambia la frecuencia de la luz que ilumina la fotocélula. La longitud de onda de cada uno está marcada en una etiqueta pegada sobre los mismos.
5. Para cada filtro, observar la salida del amplificador, que es proporcional a la fotocorriente extraída del cátodo. Podemos influir sobre éste valor aplicando un voltaje sobre la fotocélula con el potenciómetro.
6. Medir el voltaje que es necesario aplicar para que la fotocorriente se anule. Cambiar

el filtro, y repetir. Hágase para todos los filtros proporcionados.

## 6 Tareas

Una vez completadas las medidas del voltaje de frenado para todos los filtros proporcionados,

- estimar la constante de Planck
- estimar la función de trabajo del ánodo
- discutir la precisión de las medidas y las posibles fuentes de error