Efecto Fotoeléctrico

Cátedra de Laboratorio 5

Departamento de Física de la UBA

Introducción:

Cuando luz monocromática incide sobre un cátodo de material fotosensible, este emite electrones con una energía cinética que depende de la longitud de onda de la luz incidente y del tipo de material del cátodo [1]. Este proceso se denomina emisión fotoeléctrica, y los electrones emitidos se denominan fotoelectrones. Determinando la energía de los fotoelectrones emitidos se puede evaluar la constante de Planck y la función trabajo del material del cátodo. En la práctica se intentará determinar ambas cosas. Supongamos que tenemos el dispositivo de la figura:

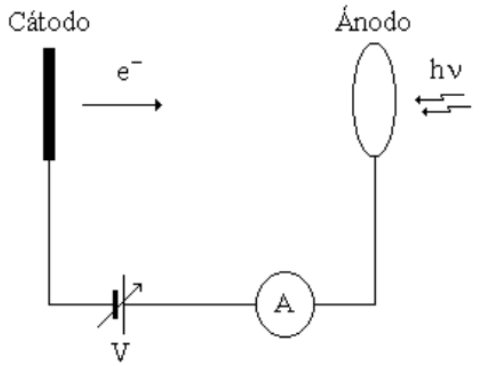

Figura 1. Diagrama esquemático del experimento para estudiar el efecto fotoeléctrico.

El ánodo es un cable en forma de aro. Sobre el cátodo inciden fotones de energía $h\nu$. Los electrones se desprenden del cátodo (emisor) y salen con energía cinética $T_e = h\nu - \phi_e$, donde ϕ_e es el trabajo necesario para extraer un electrón del emisor, es decir la energía necesaria para llevar un electrón hasta la superficie del cátodo con energía cinética nula. Si entre el ánodo y el cátodo ponemos una diferencia de potencial Vnegativa (frenador) entonces existirá un potencial V_0 tal que si $V < V_0$ el electrón no llegará al ánodo y no mediremos corriente en el amperímetro. El ánodo, o colector, tiene a su vez su propia función trabajo $\phi_c \neq \phi_e$. Puede verse en la Ref. [2] que el potencial V_0 satisface que:

$$eV_0 = h\nu - \phi_c$$

Vemos que si determinamos V_0 para distintas frecuencias ν, del gráfico de V_0 versus ν podemos en principio determinar h (la constante de Planck) a partir de la pendiente y ϕ_c de la ordenada al origen. Puede verse en [2] que este potencial tiene en cuenta además posibles potenciales de contacto.

Un Procedimiento para determinar la función trabajo del emisor podría ser el siguiente: sabemos que existe una frecuencia mínima ν_{min} tal que si $\nu < \nu_{min}$ no llegará al ánodo ningún electrón por más grande que sea el potencial acelerador (dentro de ciertos límites). La energía del fotón con ν_{min} es justo la necesaria para arrancar el electrón del material pero sale con energía cinética cero. Si la frecuencia es mayor tendremos

una corriente mientras que si es menor no habrá corriente por más que pongamos un potencial acelerador. Para ν_{min} podemos plantear la siguiente ecuación:

$$h\,\nu_{min} = \phi_e$$

De esta ecuación podemos, en principio, determinar la función trabajo del material del emisor (cátodo).

La principal dificultad experimental es que las fotocorrientes que debemos medir son muy pequeñas y en general el ruido que aparece es más grande que la misma corriente que queremos medir. La segunda dificultad consiste en lograr incidir con luz de frecuencia variable, que podamos considerar para cada frecuencia monocromática, y de una intensidad que nos permita medir el efecto.

Arreglo y desarrollo experimental:

Para poder medir las fotocorrientes en la práctica se usará un amplificador Lock-In. En la Figura 2 se puede observar un esquema del experimento que se puede realizar

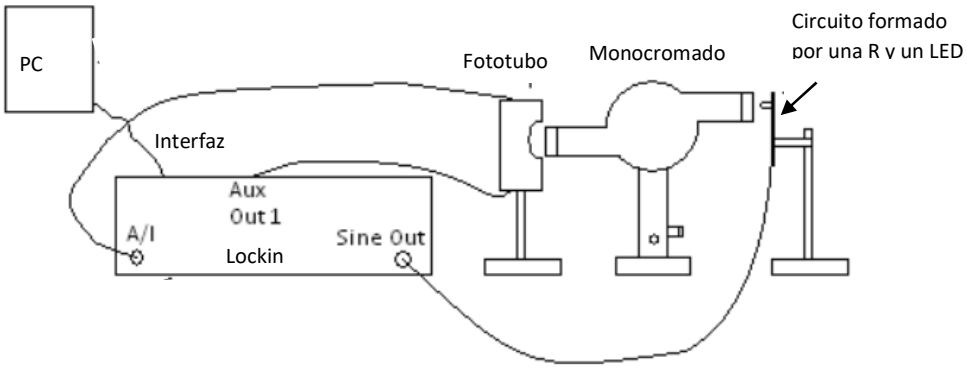

Figura 2: Un posible esquema experimental propuesto

Como fuente de luz se usan LEDs que pueden estar centrados en un color (azul-rojo) o tener un espectro blanco. Para seleccionar una longitud de onda se pasa la luz a través de un monocromador de prisma. El LED está alimentado por una tensión alterna provista por el generador interno del amplificador Lockin, y la corriente está regulada por una resistencia en serie. Esto hace que la fotocorriente esté modulada a una frecuencia fija, que se usa de referencia para el amplificador lockin, con el que podemos medir la fotocorriente conectando el fototubo a la entrada I.

Para variar el potencial de retardo entre el cátodo y ánodo se puede usar una salida auxiliar del lockin que entrega tensiones continuas entre -10V y 10 V.

Para tener más detalles acerca del funcionamiento y propiedades del amplificador lockin que usarán en la práctica, es necesario que lean cuidadosamente el manual de instrucciones del instrumento que está disponible en el laboratorio.

Mediante software se puede controlar el voltaje de la salida auxiliar y adquirir el valor de la fotocorriente en función del mismo.

Se obtienen curvas de este tipo:

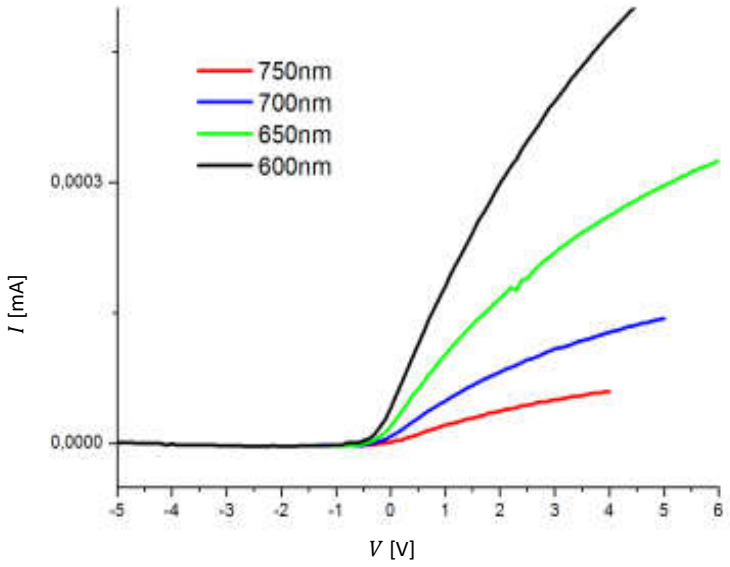

Figura 3: Ejemplo de curvas de fotocorriente *I* en función del potencial de retardo *V*.

A partir de estas curvas, con algún criterio se puede determinar V_0 para cada longitud de onda, y a partir de ahí construir el grafico del potencial retardador en función de frecuencia para determinar h.

Se puede ver que para potenciales de retardo grandes la corriente no es exactamente cero sino que es negativa. Esto se debe al hecho que puede haber depositado potasio (el material del cátodo) en el ánodo. Si la luz incide sobre el potasio depositado en el ánodo se pueden desprender electrones. Estos verán el potencial retardador (para los del cátodo) como acelerador produciendo una corriente pequeña negativa.

El hecho de que la luz no es perfectamente monocromática, sumado al hecho de que se está a temperatura finita redondea el umbral de emisión, haciendo menos evidente la determinación de V_0. El ancho espectral y la intensidad relativa de la luz incidente, para cada frecuencia, puede medirse colocando un espectrómetro a la salida del monocromador, en el lugar del fototubo. La corrección por temperatura finita puede tenerse en cuenta a través de la formulación de Fowler [3,4].

Finalmente, un gráfico de I vs ν a V acelerador constante, permite determinar (en principio) la frecuencia umbral ν_{min}. Esta curva solo tendrá sentido, si se normaliza la fotocorriente por la intensidad de luz incidente, que no es cte para todas las frecuencias, sino que depende del espectro del LED emisor.

Referencias:

[1] Robert M. Eisberg, *Fundamentos de Física Moderna* (1974); Kenneth Krane, *Modern Physics*, 2nd edition (1995): R.M. Eisberg, J. *Fundamentals of Modern Physics*, Wiley & Sons (1990).

[2] J. Rudnick, D. S. Tannhauser - *"Concerning a widespread error in the description of the photoelectric effect"* - Am. J. Phys. **44**, 796 (1976).

[3] A.W. Knudsen, "*The photoelectric determination of h/e: A new approach to the problem,*" Am. J. Phys. **51**, 725 – 729 (1983).

[4] R. H. Fowler, ¨*The analysis of photoelectric sensitivity curves for clean metals at various temperatures*¨, Physical Review **38**, 45 (1931).