

Efecto fotoeléctrico en un fototubo

ARIEL BERARDINO, LUCAS ESTERSON

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA. Grupo Tuki

ariberardino@hotmail.com, lucas.esterson@gmail.com
4 de Septiembre 2015

Resumen

En este trabajo se estudió el efecto fotoeléctrico en un fototubo. Se midió la fotocorriente en función del potencial retardador para distintas longitudes de onda del monocromador y se obtuvo el potencial V_0 tal que si $V < V_0$ no se mide corriente. Para esto se hizo una previa calibración del monocromador y se escribió un script en Matlab que, comunicando la computadora con el Lock-In, permitió la automatización de la adquisición de datos. No se logró calcular la constante de Planck ni la función trabajo del material del cátodo, ambos objetivos de la práctica, por falta de tiempo.

1. Introducción

El efecto fotoeléctrico es un fenómeno de gran importancia, tanto históricamente como en la actualidad. Dicho efecto es la base de la producción de energía solar fotovoltaica. Este principio se utiliza también para la fabricación de células utilizadas en los detectores de llama de las calderas de las grandes centrales termoeléctricas, así como para los sensores utilizados en las cámaras digitales. También se utiliza en diodos fotosensibles tales como los que se utilizan en las células fotovoltaicas y en electroscopios o electrómetros.

El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por un material, en nuestro caso un cátodo, cuando se hace incidir sobre él una radiación electromagnética, en general, luz visible o ultravioleta. Los fotones del rayo de luz tienen una energía característica determinada por la frecuencia de la luz. En el proceso de fotoemisión, si un electrón absorbe la energía de un fotón y éste último tiene más energía que la función de trabajo (energía necesaria para llevar al electrón hasta la superficie del cátodo con energía cinética nula), el electrón es arrancado del material. Si la energía del fotón es demasiado baja, el electrón no puede escapar de la superficie del material.

Aumentar la intensidad del haz no cambia la energía de los fotones constituyentes, solo cambia el número de fotones. En consecuencia, la energía de los electrones emitidos no depende de la intensidad de la luz, sino de la energía de los fotones.

Algebraicamente:

$$hf = E_k + \Phi \quad (1)$$

donde h es la constante de Planck, f es la frecuencia del fotón incidente, E_k es la energía cinética del electrón emitido y Φ es la función trabajo. [1]

Determinando la energía de los electrones emitidos se puede evaluar la constante de Planck y la función trabajo del material sobre el cual inciden los fotones. En la práctica se intentará deter-

minar ambas cosas. Supongamos que tenemos el dispositivo de la figura 1

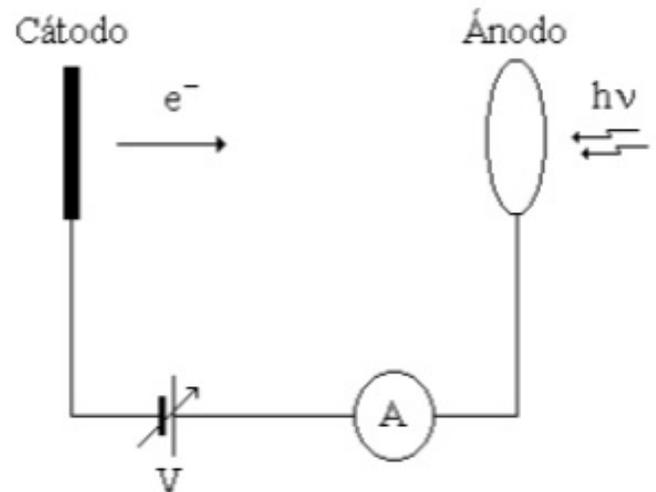


Figura 1: Diagrama esquemático para estudiar el efecto fotoeléctrico

El ánodo es un cable en forma de aro. Si entre el ánodo y el cátodo ponemos una diferencia de potencial V negativa (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. Ese potencial V_0 satisface que:

$$eV_0 = hf - \Phi \quad (2)$$

Variando el potencial de retardo entre el cátodo y el ánodo se puede tener un gráfico de la corriente en función del potencial de retardo, y de allí determinar V_0 . Haciendo esto para distintas frecuencias se puede obtener V_0 en función de la frecuencia, y utilizando la ecuación 3 obtener la constante de Planck, h . La ordenada al origen de ese gráfico debería ser la función trabajo, pero este método para determinarla no es óptimo ya que en verdad el V_0 que

uno mide es la suma entre el potencial que uno mide entre el ánodo y el cátodo más un potencial de contacto.

Un procedimiento más fiable para determinar la función trabajo del cátodo podría ser el siguiente: sabemos que existe una frecuencia mínima f_{min} tal que si $f < f_{min}$ no llegará al ánodo ningún electrón por más grande que sea el potencial acelerador (dentro de ciertos límites). Para f_{min} la energía del fotón 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 f_{min} podemos plantear la siguiente ecuación:

$$hf_{min} = \Phi \quad (3)$$

De esta ecuación, conociendo h , podemos determinar la función trabajo.

2. Dispositivo Experimental

Para la realización de las mediciones se construyó el siguiente dispositivo experimental:

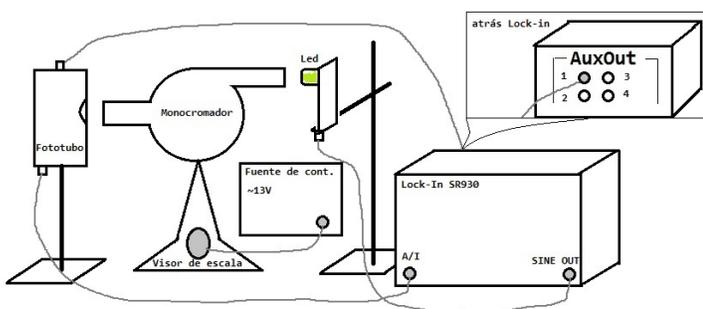


Figura 2: Dispositivo experimental utilizado

Como se puede ver en la figura, el dispositivo consistía de un fototubo conectado en modo corriente a un Lock-In, marca Stanford Research Systems modelo SR930, que medía la fotocorriente; un monocromador, marca Zeiss M4 Q III; y una fuente de luz. El fototubo, a su vez, estaba conectado a la parte trasera del Lock-In, en el canal 1 de "Auxout", por donde se podía enviar un potencial retardador. Se utilizó una fuente de corriente continua para encender la luz de la escala del monocromador y así poder observar la posición del dial.

La luz de la fuente incidía sobre la abertura de entrada del monocromador. Variando la posición del dial se elegía una longitud de onda determinada del espectro de frecuencias para que la luz monocromática que salía por la abertura de salida fuera de esa determinada longitud de onda.

Para la calibración del monocromador se utilizaron lámparas de Mercurio, Helio, Neón e Hidrógeno como fuente. Mediante un

visor que estaba en la abertura de salida se observaba la luz que salía del monocromador. Se iba variando la posición del dial hasta ver la imagen de la fuente de un color, se anotaba la posición del dial, el color de la imagen y así sucesivamente hasta recorrer todas las longitudes de onda. Se repitió este proceso para las cuatro lámparas y se confeccionó un gráfico de la longitud de onda tabulada en función de la longitud de onda medida.

Para medir las fotocorrientes se escribió un script en Matlab que automatizaba la adquisición de datos, ver Apéndice para más información. Se utilizó un led verde como fuente y se midió la corriente del fototubo en función del potencial retardador entre $-8V$ y $8V$, con un paso de $10ms$, para distintas longitudes de onda.

3. Análisis y Discusión

3.1. Calibración del monocromador

Tras medir diferentes líneas características de las lámparas previamente mencionadas se fue comparando el valor observado con el tabulado, con el fin de calibrar el monocromador.

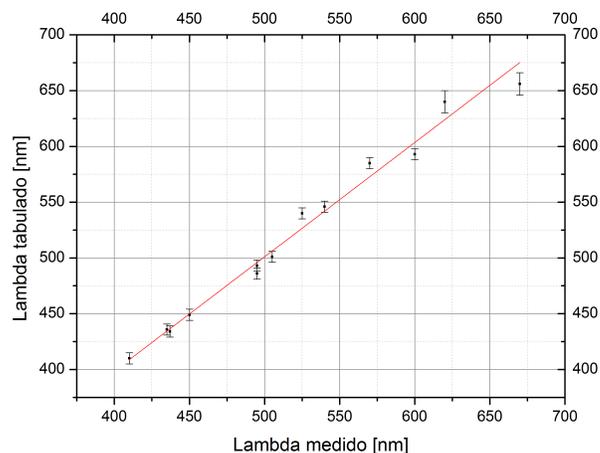


Figura 3: Gráfico de calibración del monocromador. De haber estado perfectamente calibrado debería haber tenido pendiente 1 y ordenada al origen 0. El resultado obtenido fue de $1,02 \pm 0,03$, y ordenada al origen $(-11 \pm 19)nm$

Como se puede ver en la figura 3 se hizo esto para 13 líneas características. Los puntos fueron ajustados por una recta. Consideramos al ajuste adecuado debido a que obtuvimos un $R=0,9834$. El resultado obtenido fue de $1,02 \pm 0,03$, y ordenada al origen $(-11 \pm 19)nm$.

3.2. Fotocorriente en función del potencial retardador

Se midió corriente en función del potencial de retardo para dos longitudes de onda: $(500 \pm 5)nm$ y $(540 \pm 5)nm$. En la figuras 4 y 5 se pueden ver los resultados obtenidos respectivamente. Para cada uno de ellas se obtuvo V_0 : $(0,4 \pm 0,1)V$ y $(0,3 \pm 0,1)V$, respectivamente.

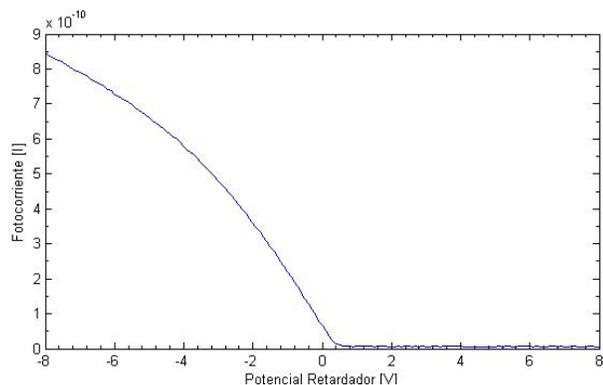


Figura 4: Gráfico de corriente en función del potencial retardante para $\lambda = (500 \pm 5)nm$

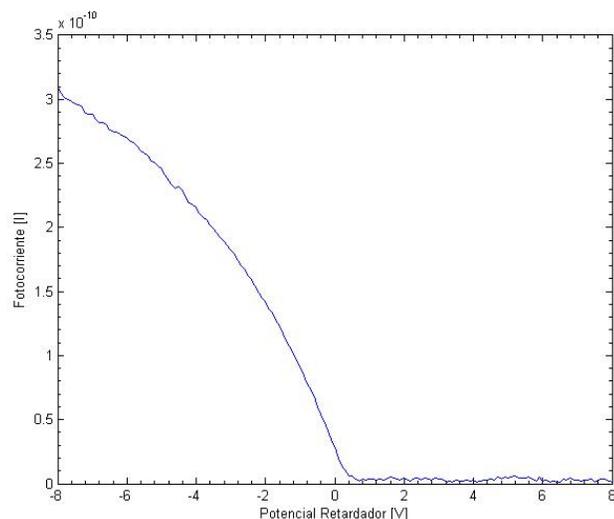


Figura 5: Gráfico de corriente en función del potencial retardante para $\lambda = (540 \pm 5)nm$

En ambas figuras puede verse que el gráfico está invertido, respecto del eje vertical, a lo esperado. Esto puede haberse debido a

que se conectó al revés tensión sobre el fototubo y corriente.

Haciendo el gráfico de V_0 vs f se puede determinar la constante de Planck h según la ecuación 2. No obstante, al carecer del tiempo suficiente para seguir las mediciones no se pudo confeccionar dicho gráfico.

4. Conclusiones

Los parámetros del ajuste lineal del gráfico de λ tabulado en función del λ medido dieron una pendiente de $1,02 \pm 0,03$ y una ordenada al origen de $(-11 \pm 19)nm$. Se escribió un script en Matlab para la adquisición de datos. Este programa de computadora le daba instrucciones al Lock-In para que varíe el potencial retardador mientras tomaba los datos de la fotocorriente y del mismo potencial.

Con los datos se realizaron dos gráficos de la fotocorriente en función del potencial retardador para las longitudes de onda $(500 \pm 5)nm$ y $(540 \pm 5)nm$ de un led verde. El potencial V_0 dio $(0,4 \pm 0,1)V$ y $(0,3 \pm 0,1)V$, respectivamente. No se pudo cumplir lo propuesto en la introducción ya que no se pudo determinar la constante de Planck, h , ni la función trabajo del cátodo, debido a que para esto se necesitaban más de dos puntos. Esto implicaba contar con más tiempo del que disponíamos.

5. Apéndice

Para medir las fotocorrientes se escribió un script en Matlab que automatizaba la adquisición de datos que comandaba al Lock-in. Éste iba variando el potencial de retardo a medida que tomaba datos de la corriente. También le indicaba al generador de funciones (dentro del mismo Lock-in) cuál debía ser la frecuencia de la onda cuadrada y la amplitud de la misma (que no variaba a lo largo de la adquisición). Además permitía determinar la constante de tiempo con la cual el lock-in integraba, y en base a eso, automáticamente elegía la pausa entre mediciones para maximizar la eficiencia. La sensibilidad debía ser configurada a mano en el Lock-in, debido a que el valor de esta función dependía de factores del armado experimental tal como la lejanía del led al monocromador y otras elecciones que el programa no podía tener en cuenta.

Referencias

- [1] <https://es.wikipedia.org/wiki/Efectofotoel>
- [2] <https://es.wikipedia.org/wiki/Monocromador>