

Efecto fotoeléctrico

Juan Kamienkowski, Sebastián Romano y Matías Travizano,
kamandu@yahoo.com, juka44@yahoo.com.ar, slick@ussrback.com
Laboratorio 5, Departamento de física, UBA- 2002

Resumen

En el presente trabajo se estudia el efecto fotoeléctrico y se obtiene la constante de Planck (h) a través de la medición de la fotocorriente entre los electrodos de un fototubo. Para ello se varía la diferencia de voltaje entre los electrodos y se incide con distintas longitudes de onda. El valor obtenido es $h = (5.2 \pm 1.8) \times 10^{-34}$ [J-seg.].

1. Introducción

El efecto fotoeléctrico es la emisión de electrones desde un cátodo de material fotosensible, producida por la incidencia de luz monocromática. La energía de los electrones despedidos depende de la longitud de onda de la luz con la que el cátodo es iluminado. Para estudiar este fenómeno se utiliza el siguiente dispositivo:

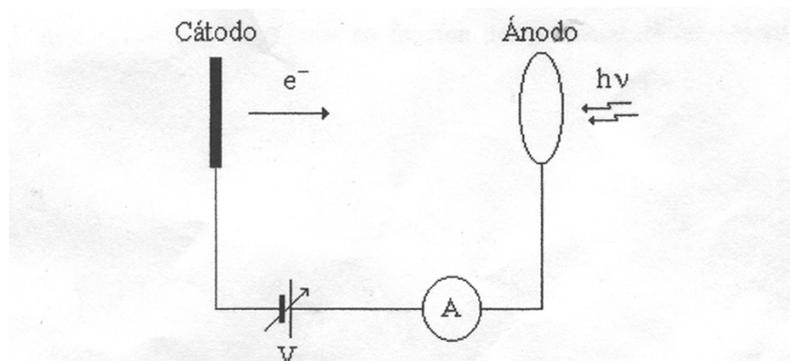


Figura 1. Diagrama esquemático del experimento para estudiar el efecto fotoeléctrico.

Se hacen incidir fotones de energía $h\nu$ sobre el cátodo, lo que provoca que se desprendan electrones de éste con energía cinética $T = h\nu - \phi$ donde ϕ es el trabajo que se debe realizar para llevar un electrón hasta la superficie del cátodo con energía cinética nula. Si entre el cátodo y el ánodo hay una diferencia de potencial V negativa (potencial frenador), entonces existirá un potencial V_0 tal que si $V < V_0$ los electrones no llegarán al ánodo y no se medirá corriente con el amperímetro. Además, este potencial satisface que:

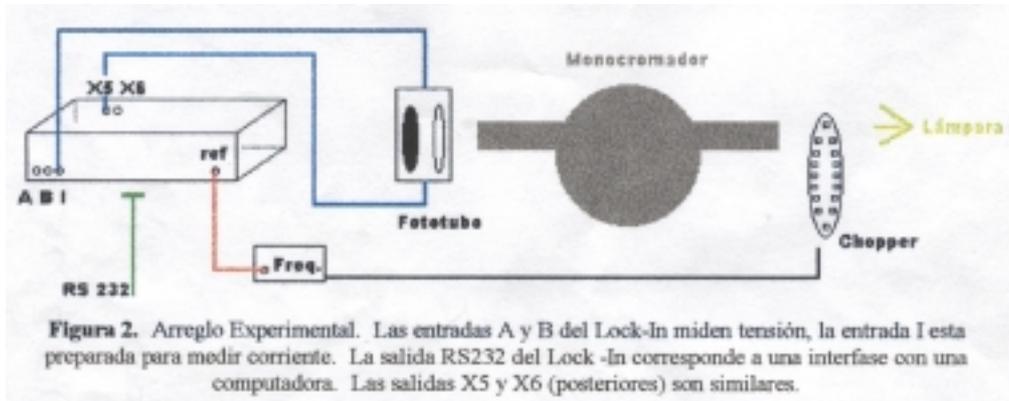
$$e \cdot V_0 = h \cdot \nu - \phi \quad (1)$$

También existe una frecuencia mínima ν_m tal que si $\nu < \nu_m$, no llegará ningún electrón al ánodo por más grande que sea el potencial acelerador (dentro de ciertos límites). Para ν_m la energía del fotón es justo la necesaria para arrancar electrones del material pero salen con energía cinética nula. Si la frecuencia es mayor se tendrá una corriente, mientras que si es menor no habrá corriente por más que se ponga un potencial acelerador. Para ν_m se cumple la siguiente relación:

$$\phi = h \cdot \nu_m \quad (2)$$

2. Arreglo experimental

Debido a que las fotocorrientes son de muy baja intensidad, y en general el ruido es más grande que la corriente que queremos medir, utilizaremos un amplificador Lock-in conectado a un disco metálico con aberturas (chopper) que gira a una frecuencia fija conocida que modula la luz incidente a dicha frecuencia y, por lo tanto, también a la fotocorriente. El Lock-in recibe una señal de referencia del chopper, e identifica a la fotocorriente como la señal que debe amplificar. A continuación presentamos un esquema del dispositivo.



Con una computadora conectada al Lock-in se puede variar el potencial de retardo y el monocromador nos permite seleccionar la longitud de onda con la que se quiere incidir. El fototubo fue iluminado con una lámpara dicróica con el objetivo de tener una intensidad mayor que permita realizar la medición.

3. Desarrollo experimental y resultados

Se calibró el monocromador utilizando las líneas espectrales conocidas de una lámpara de mercurio. Se levantó una curva de frecuencia versus posición del dial del monocromador, luego se utilizará esta curva como referencia para relacionar el dial con las frecuencias. Las líneas espectrales utilizadas para la calibración fueron la del azul (435.8 nm), verde (546 nm) y amarilla (576.9 nm). Cabe destacar que el ancho de las líneas es grande lo que complica la determinación de las longitudes de onda correspondientes (Fig. 3):

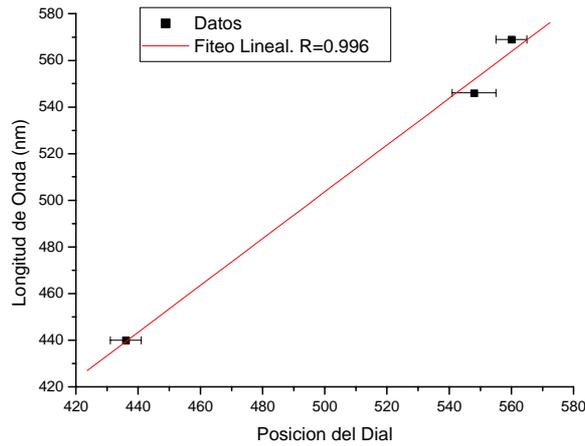


Figura 3: Fiteo lineal de la calibración del Dial.

La curva de calibración obtenida es:

$$[\text{Longitud de Onda}] = 1.15738 * [\text{Posición del Dial}] - 71.4704$$

Luego, incidiendo con una longitud de onda fija, se aplica una diferencia de voltaje entre el ánodo y el cátodo que crecía en forma lineal. Durante este proceso se mide la fotocorriente (en verdad no se mide la corriente, sino la caída de voltaje) y se obtienen así las curvas presentadas a continuación (Fig. 4):

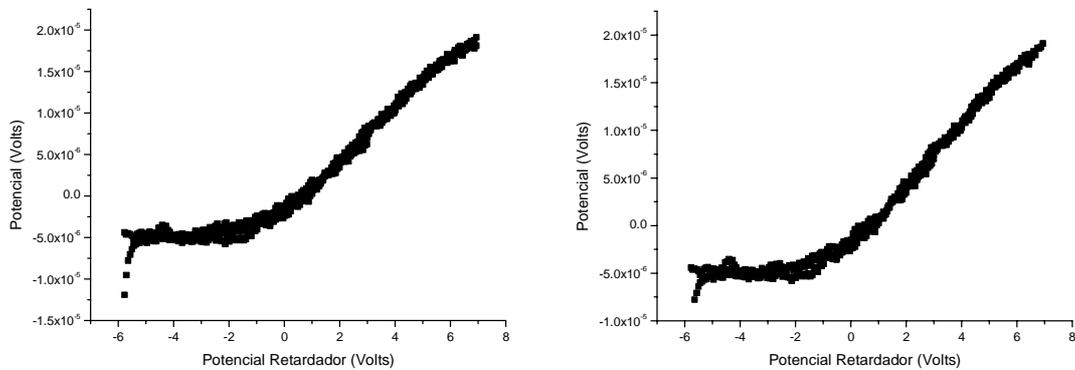


Figura 4: Curvas representativas del potencial proporcional a la fotocorriente en función del potencial retardador para dos longitudes de onda ($\lambda = 595 \text{ nm}$ y $\lambda = 470 \text{ nm}$, respectivamente).

En éstos se puede apreciar que el potencial se mantiene aproximadamente constante en las proximidades del cero hasta un valor determinado del potencial de retardo, distinto para cada longitud de onda aunque en un mismo orden de magnitud, a partir del cual el potencial comienza a crecer apreciablemente. Este es el voltaje V_0 mencionado anteriormente. Para determinar el valor de los distintos V_0 lo que se hizo fue realizar un ajuste lineal con los puntos para los cuales V se mantiene constante y además también ajustar mediante un ajuste polinómico la totalidad de los puntos. En la zona en la cual el potencial se mantiene constante los dos ajustes coinciden, es decir, los valores arrojados por ambos ajustes en esa zona son comparables. El valor de V_0 será aquel para el cual el ajuste polinómico se diferencia con respecto al ajuste lineal, o sea el último valor para el

cual el ajuste polinómico y el lineal coinciden. A continuación se expone un gráfico representativo del método mencionado.

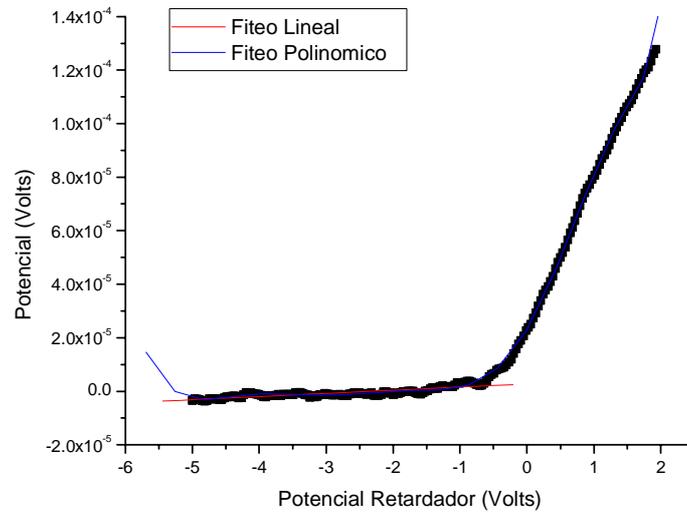


Figura 5: Gráfico donde se exhibe el método utilizado para determinar el potencial de despegue (V_0)

Y también se expone una ampliación de la zona crítica donde se determina el potencial de despegue V_0 (Fig. 6):

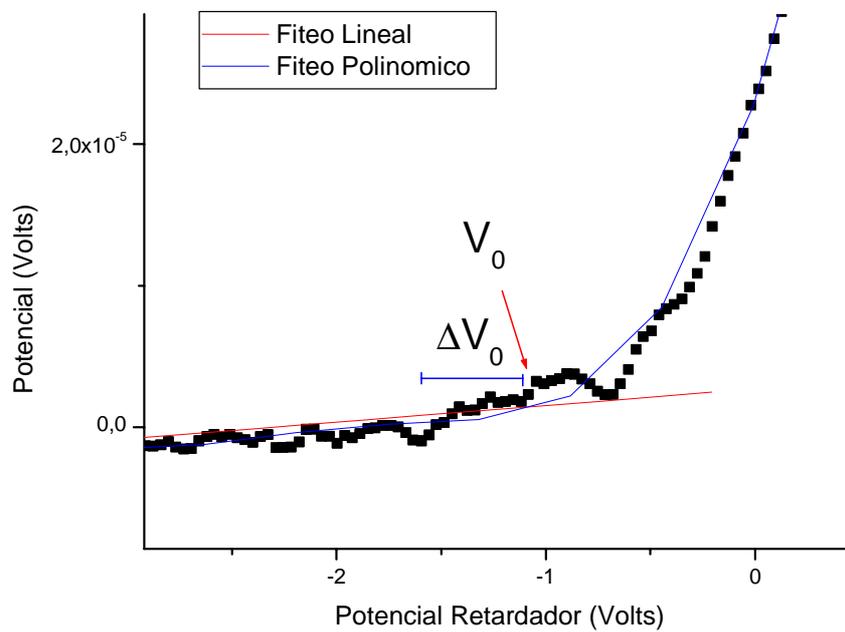


Figura 6: Ampliación de la zona donde se observa el V_0 para $\lambda=500$ nm .

Donde el error ΔV_0 es determinado por la diferencia entre el valor del último punto donde se intersecan los ajustes y el valor aparente donde la curva comienza a crecer.

Se realizan varias mediciones para distintas frecuencias. Utilizando este criterio para cada conjunto de datos se construyó el siguiente gráfico de V_0 como función de la

frecuencia, el cual se presenta a continuación junto con un ajuste lineal correspondiente a la ecuación 1.

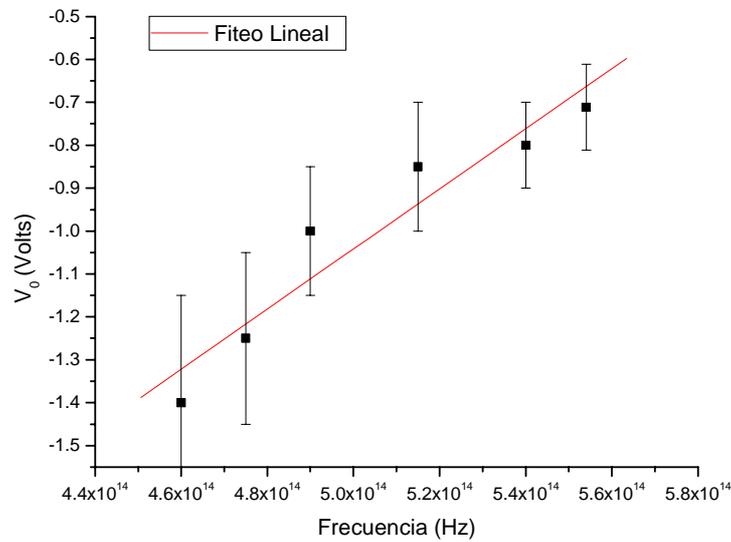


Figura 7: Ajuste lineal de V_0 en función de la frecuencia de la luz incidente, del cual se obtienen información tanto de h como de la función trabajo ϕ .

El valor de h es obtenido por el valor de la pendiente arrojado por el ajuste lineal, mientras que el valor de ϕ es determinado por la ordenada al origen de este. Los valores obtenidos son los siguientes:

$$h = (5.2 \pm 1.8) \times 10^{-34} \text{ [J-seg]} \qquad \phi = (4.8 \pm 1.0) \times 10^{-19} \text{ [J]}$$

Luego, sin aplicar un potencial entre el ánodo y el cátodo, variamos la longitud de onda y medimos la fotocorriente. Obtuvimos la siguiente curva.

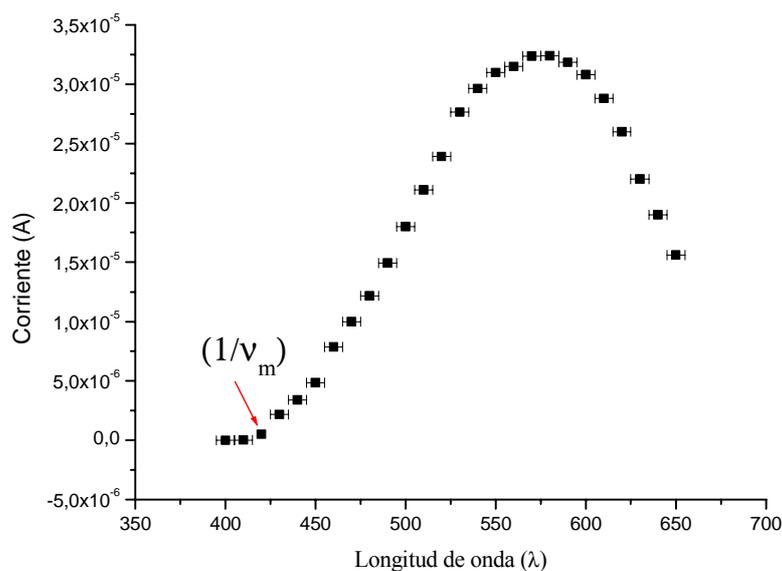


Figura 8: Gráfico de la fotocorriente en función de la longitud de onda de la luz incidente sin aplicar un potencial entre el ánodo y el cátodo.

De este dato se puede obtener inmediatamente v_m tomando la inversa. Se observa entonces que existe una v_m para la cual la corriente se dispara. El valor aproximado es $(1/v_m)=(420 \pm 10)$ nm, que es determinado a partir de la tabla de datos. El error en las longitudes de onda proviene de la incerteza al determinar el valor de la medición a través del dial del monocromador. Con el valor de h obtenido anteriormente, se calculó ϕ utilizando la ecuación 2.

$$\phi = (2.2 \pm 0.8) \times 10^{-19} \text{ [J]}$$

Donde el error proviene de propagar los errores de h y v_m .

Análisis de resultados y conclusiones

El experimento cumplió con las características del efecto fotoeléctrico. Se observa la existencia del V_0 y del v_m tal como predice la teoría.

Comparativamente con el valor tabulado de h ($h_{tab} = 6.63 \times 10^{-34}$ J-seg) el valor obtenido mediante nuestro experimento ($h = (5.2 \pm 1.8) \times 10^{-34}$ J-seg) está dentro de los márgenes de error.

En cuanto a la determinación de ϕ , los dos valores son del mismo orden de magnitud aunque difieran, quedando incluso fuera de la cota de error, en un 2%. El incremento en el valor de ϕ , obtenido mediante el método de la ordenada al origen, se puede explicar porque el potencial V_0 medido es suma del potencial entre el cátodo y ánodo y un potencial de contacto V_c , lo cual afecta el cálculo de la ordenada al origen de la recta. Por lo tanto, consideramos al segundo método como el más confiable.

Se encontró también importante realizar las mediciones con una fuente luminosa relativamente intensa, como la lámpara dicróica utilizada en esta experiencia, ya que esto nos permite generar una fotocorriente de una intensidad mayor.

Para posteriores experiencias se sugiere realizar mediciones más exactas de V_0 , ya sea por un método más efectivo o realizando repetidas mediciones de V_0 para cada longitud de onda y tomar el valor medio.

Bibliografía

1. Apunte de Laboratorio 5, "Efecto fotoeléctrico"
2. Eisberg, "Fundamentos de física moderna". Limusa, 1992.
3. John Scofield, "Frequency domain description of a Lock-in amplifier". American Journal of physics, 62(2), Feb. 1994, pág. 129.