

Efecto Fotoeléctrico

E. Kropff, J. von Stecher.

Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Se estudia el efecto fotoeléctrico con el objetivo de determinar la constante de Planck. Los resultados muestran que existen fenómenos no contemplados en el modelo que resultan no despreciables a los efectos del análisis de datos.

I. Introducción

En el presente experimento se pretende determinar la constante de Planck h a partir del estudio del efecto fotoeléctrico, es decir, de la generación de una corriente eléctrica como producto de la incidencia de un haz de luz sobre un material fotosensible, o fotocátodo.

En el trabajo que le valió el premio Nobel de física, Einstein propuso que las ondas electromagnéticas, cuya energía Planck había restringido a los valores $n.h.v$ (donde n es un número natural y v es la frecuencia), están formadas por paquetes muy localizados, o fotones, de energía:

$$\varepsilon = h.v \quad (1)$$

Para explicar el efecto fotoeléctrico propuso que la energía de un fotón era totalmente absorbida por algún electrón del fotocátodo.

Si, como se muestra en la Fig. 1, se conecta el cátodo con un ánodo a través de un potencial variable V , haciéndose incidir luz sobre el primero, se observa la presencia de una corriente en dirección cátodo - ánodo incluso para un valor no positivo del potencial. La energía necesaria para generar esta corriente proviene de los fotones.

De esta manera, la energía cinética de cada electrón desprendido del cátodo es:

$$T_e = h.v - \phi \quad (2)$$

donde ϕ es el trabajo necesario para extraer un electrón del cátodo.

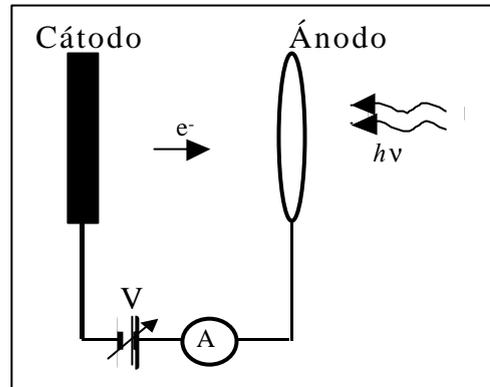


Fig. 1 Diagrama esquemático del interior del fototubo utilizado para la medición del efecto fotoeléctrico.

Existe un valor mínimo para el potencial variable, V_0 , tal que si $V < V_0$ no se observa corriente alguna. Esto se debe a que la energía T_e del electrón es justo la que necesita para sortear la barrera de potencial V_0 . Atendiendo a esto puede escribirse:

$$e.V_0 = h.v - \phi \quad (3)$$

A partir de esta relación, y de valores para V_0 y v , puede obtenerse el valor de h . También puede determinarse ϕ , aunque esto sólo es en teoría pues el potencial que se mide es la suma de V_0 y un potencial de contacto V_c constante para toda frecuencia. Otra manera de medir ϕ es observar directamente a partir de qué frecuencia ya no se

observa variación en la corriente para ningún valor de V .

II. Desarrollo experimental

En la Fig. 2 se muestra un diagrama de la disposición de instrumentos. El haz proveniente de una lámpara dicróica se hace pasar por un monocromador. La calibración del mismo se lleva a cabo utilizando fuentes de frecuencia de emisión conocida (sodio, mercurio, láser). El haz que sale del monocromador incide sobre el fotocátodo.

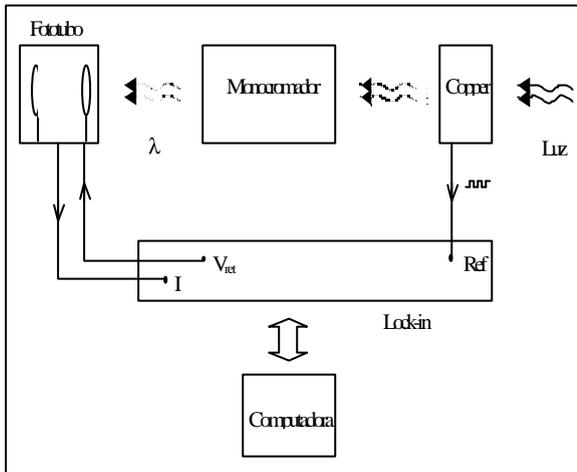


Fig. 1 Diagrama esquemático del instrumental utilizado para la medición del efecto fotoeléctrico.

Debido a que la corriente entre el cátodo y el ánodo es por lo menos del orden del ruido, es necesario utilizar un lockin para su medición. Se coloca un disco metálico giratorio con aberturas (chopper) entre la fuente y el monocromador, y se alimenta el selector de frecuencias del lockin con la frecuencia de rotación del mismo. De esta manera se filtra toda señal que no tenga esta frecuencia arbitraria. La misma se selecciona de manera tal de disminuir el ruido lo más posible.

La señal proveniente del lockin se colecta con una computadora. El potencial V se varía entre dos límites

escogidos de manera tal que contengan a V_0 . Así se colectan datos del tipo exhibido en la Fig. 3. Se muestra el gráfico de la corriente entre el cátodo y el ánodo como función del potencial V . Para varias frecuencias distintas del monocromador se obtienen los valores de V_0 a partir de estos gráficos.

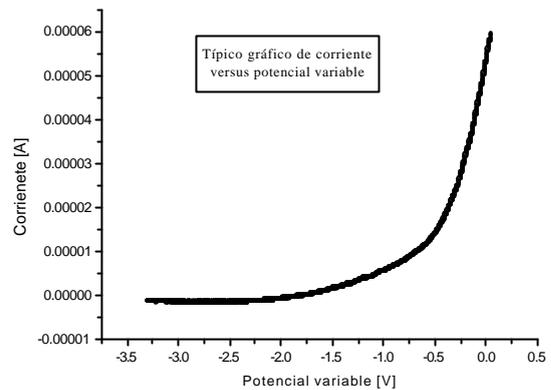


Fig. 3 Resultado típico en la medición de corriente en función del voltaje. Obsérvese que la figura difiere de lo predicho por la teoría.

III. Análisis de datos

Teóricamente un gráfico como el de la Fig. 3 debería ser constante desde el mínimo de potencial hasta V_0 , punto a partir del cual el gráfico debería ser lineal. Sin embargo se observa una transición suave de un estado a otro, lo que dificulta la determinación de V_0 .

Se observa que si en la medición de V_0 se toma un error del orden del rango de variación no lineal de la corriente, el error acarreado a la determinación de la constante h es del orden de la misma. Debido a esto se escogen criterios de determinación de V_0 que impliquen menor error, aunque no quede claro que lo que se mide sea realmente V_0 u otra cosa.

Se utilizan dos criterios para el análisis de los datos. En ambos casos se considera que V_0 es el potencial a partir del cual la corriente comienza a crecer, más allá de la linealidad o no de su comportamiento, ya que la energía para

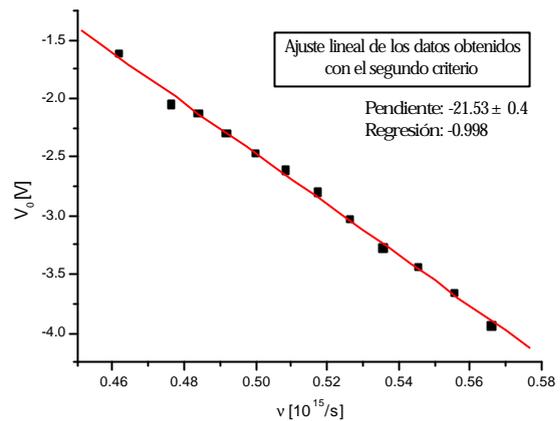
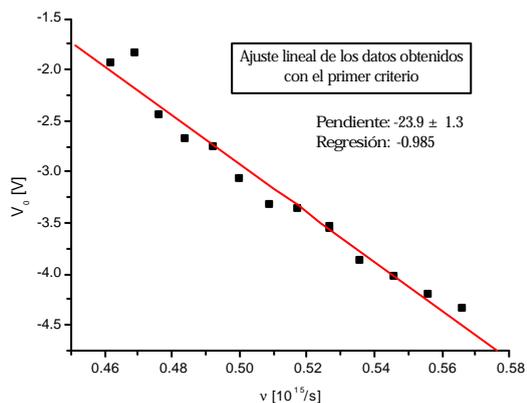
el aumento de la corriente se supone proveniente de los fotones incidentes, lo que implica que la energía T_e ha superado la barrera de potencial.

El primer criterio consiste en tomar el promedio y la desviación estándar de los datos que pertenecen a la región constante. Luego de esto se suavizan los datos mediante un proceso de promediado con los puntos adyacentes (smoothing), y se toma como V_0 el punto a partir del cual los datos suavizados salen fuera de la banda correspondiente al promedio y desviación estándar de la zona constante.

El segundo criterio se basa en la observación de que los promedios mencionados anteriormente son similares para distintas frecuencias, lo que concuerda con la teoría. Se elige arbitrariamente un valor de umbral a partir del cual considerar que el gráfico suavizado deja de ser constante. En la elección del valor se tiene en cuenta el tipo de fluctuación de la señal en la zona constante. Se utiliza el mismo valor para todas las mediciones.

IV. Resultados

En la Fig. 4 se muestra el gráfico obtenido para V_0 en función de ν utilizando el primero de los criterios descritos en la sección de análisis de datos. En la Fig. 5 se muestra el gráfico correspondiente al segundo criterio.



Figs. 4 y 5 Resultados obtenidos a partir de la aplicación del primer y segundo criterio respectivamente para la determinación de V_0

Los dos resultados son similares. El comportamiento es lineal, tal como se predice en (3), pero el valor de h obtenido a partir de la pendiente resulta unas seis veces mayor que el de tablas.

Con las pendientes obtenidas en las figuras 4 y 5 se obtienen los valores para h . Del primer criterio se obtiene como resultado $h = (38 \pm 2)10^{-34}$ J.s. Con el segundo criterio se obtiene $h = (34,5 \pm 0,6)10^{-34}$ J.s. Cabe aclarar que el valor de la constante de Planck en tablas es $h = 6,6261 \cdot 10^{-34}$ J.s.

V. Conclusiones

Ninguno de los criterios utilizados para determinar V_0 resultan convincentes. Estos resultados no contradicen la teoría pues el error real en la determinación de V_0 es lo suficientemente grande como para que el valor de tablas de h quede dentro de la banda de indeterminación.

Buscar nuevos métodos de análisis de datos con el objetivo de que el resultado de la medición se asemeje a h resulta una práctica poco científica.

Las mediciones muestran un fenómeno no contemplado en el modelo.

En cuanto a la determinación de la función trabajo ϕ del cátodo, se concluye que es necesario utilizar frecuencias menores. En el presente caso el límite inferior viene impuesto por el monocromador utilizado.