

Determinación fotoeléctrica de la constante de Planck

Dina Tobia – Martín E. Saleta

dinaymartin@hotmail.com

Universidad de Buenos Aires - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Departamento de Física

En este trabajo estudiamos el efecto fotoeléctrico con el fin de determinar la constante de Planck. Para ello utilizamos una señal monocromática modulada con un chopper y amplificada con un lock-in y medimos la diferencia de potencial existente entre un cátodo y un ánodo de un fototubo sobre el cual incidía dicha señal.

Introducción^{(1), (2)}

El efecto fotoeléctrico fue descubierto por Hertz en 1887 y estudiado por Lenard en 1900. Este efecto consiste en una interacción entre un fotón y un electrón. Como resultado de dicha interacción el fotón entrega toda su energía al electrón ligado a un átomo de forma tal que este electrón es “arrancado” del núcleo, quedando de esta manera en libertad y recibiendo el nombre de *fotoelectrón*.

En 1905, Einstein utilizó la idea de Planck de la cuantización de la energía para explicar el efecto fotoeléctrico. Sus ideas fueron expresadas en una simple relación, conocida como la *ecuación fotoeléctrica de Einstein*:

$$T_e = E - \phi \quad (\text{Ec. 1})$$

donde T_e es la energía cinética con la que se desprenden los electrones, ϕ es el trabajo necesario para que el electrón sea arrancado del núcleo y $E = h \cdot \nu$ es la energía del fotón incidente, siendo ν la frecuencia y h la constante de Planck. La comprobación experimental de la teoría de Einstein era muy difícil. Experimentos cuidadosos realizados por Millikan entre 1914 y 1916 demostraron que la ecuación de Einstein era correcta y que las medidas de h coincidían con el valor encontrado por Planck.

Por esta ecuación fotoeléctrica han sido concedidos dos premios Nobel: uno a Einstein en 1921 y otro a Millikan en 1923.

Desarrollo teórico

Si se dispone de un cátodo (de material fotosensible) y de un ánodo (en forma de aro) y sobre el cátodo inciden electrones con energía $h \cdot \nu$, los electrones que se desprenden del cátodo salen con una energía cinética T_e , según se muestra en la ecuación 1.

Si entre el ánodo y el cátodo ponemos una diferencia de potencial V negativa (potencial frenador), entonces existirá un potencial V_0 tal que si $V < V_0$ el electrón no podrá llegar al ánodo y no existirá corriente entre el cátodo y el ánodo. Dicho potencial V_0 satisface⁽³⁾

$$eV_0 = h \cdot \nu - \phi \quad (\text{Ec. 2})$$

donde e es la carga del electrón (ver figura 1).

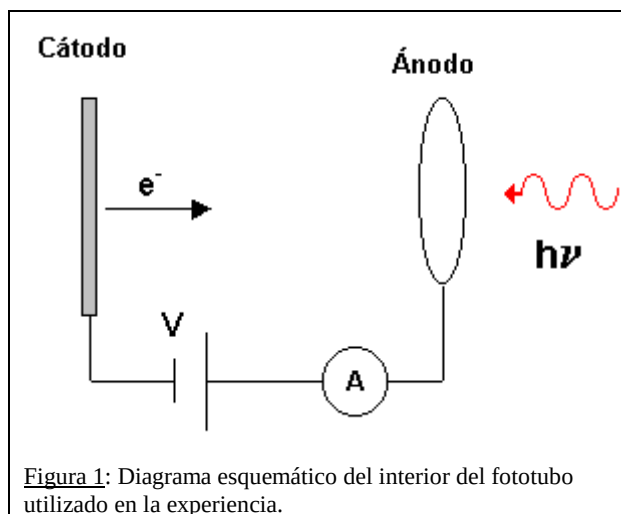


Figura 1: Diagrama esquemático del interior del fototubo utilizado en la experiencia.

De esta forma, si determinamos V_0 para distintas longitudes de onda incidentes o, por lo tanto, distintas frecuencias (ambas se relacionan por $c = \nu \cdot \lambda$, con c la velocidad de la luz en el vacío y λ la longitud de onda), y graficamos V_0 versus ν , de su pendiente puede determinarse la constante de Planck h .

Arreglo experimental

El arreglo experimental utilizado para realizar las mediciones se muestra en la figura 2. Este consta de una lámpara dicróica que incide sobre un disco metálico con aberturas (chopper) que gira con una velocidad angular constante. Esto hace que la fotocorriente esté modulada a la misma frecuencia fija. La frecuencia producida por el fotocátodo se mide con un amplificador lock-in.

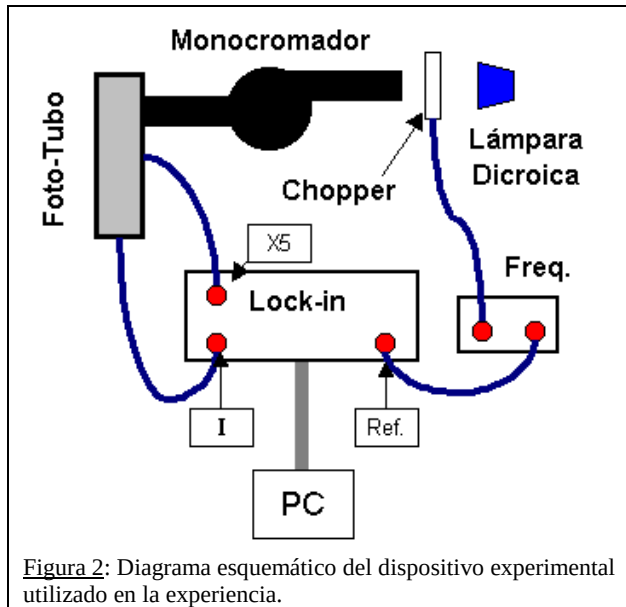


Figura 2: Diagrama esquemático del dispositivo experimental utilizado en la experiencia.

El uso de un chopper y un lock-in es muy importante para este tipo de mediciones en las que las señales que se desean medir son pequeñas comparadas con el ruido de línea del sistema.

De esta forma, el chopper “filtra” las frecuencias y sólo permite que incida la luz con una determinada frecuencia sobre el monocromador. Éste último nos permite variar la longitud de onda del haz que incide sobre el fototubo. El fototubo se conecta al lock-in, el cual realiza una rampa de voltaje entre el cátodo y el ánodo. El lock-in envía los valores de las diferencias de potencial a una PC que realiza un gráfico del potencial versus tiempo. El tiempo es un parámetro que está directamente relacionado con el voltaje de la rampa, ya que uno indica al software que realice un barrido entre dos valores de voltaje en un intervalo de tiempo dado.

Resultados

Todas las mediciones obtenidas de fotovoltaje en función del potencial frenador son semejantes al gráfico de la figura 3.

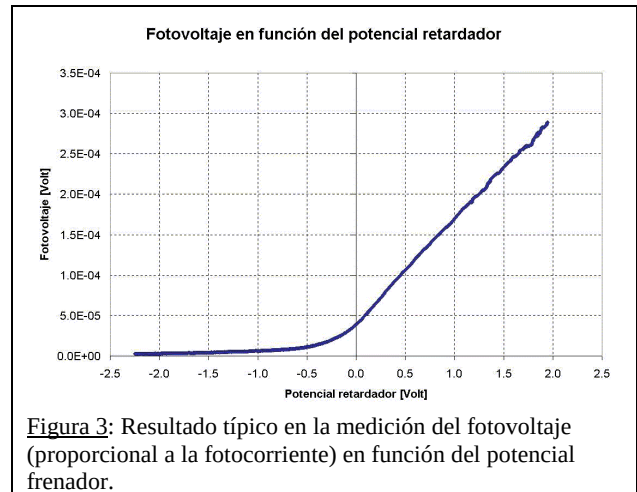


Figura 3: Resultado típico en la medición del fotovoltaje (proporcional a la fotocorriente) en función del potencial frenador.

En el gráfico anterior se puede apreciar que el fotovoltaje (proporcional a la fotocorriente) se mantiene constante, o con una leve pendiente, en las cercanías del cero hasta un determinado valor del potencial de frenado (V_0), por encima del cual crece en forma apreciable.

El potencial de frenado lo calculamos como el punto en el que el fotovoltaje deja de perder linealidad frente a la recta que aproxima a los primeros puntos. Es decir que trazamos dicha recta con sus barras de error (5%), y tomamos como el potencial de frenado al primer punto que caía fuera de esta recta con su correspondiente error (Ver figura 4).

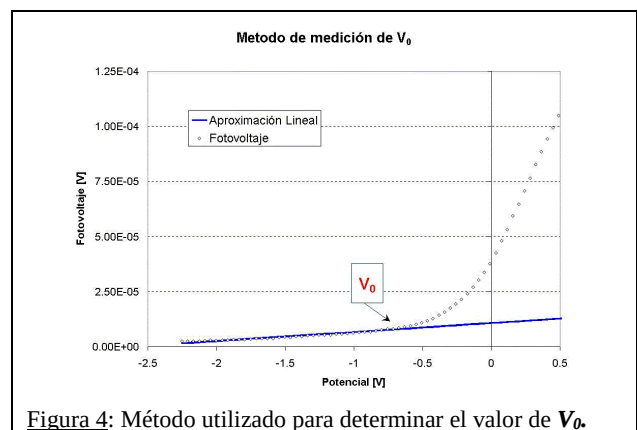
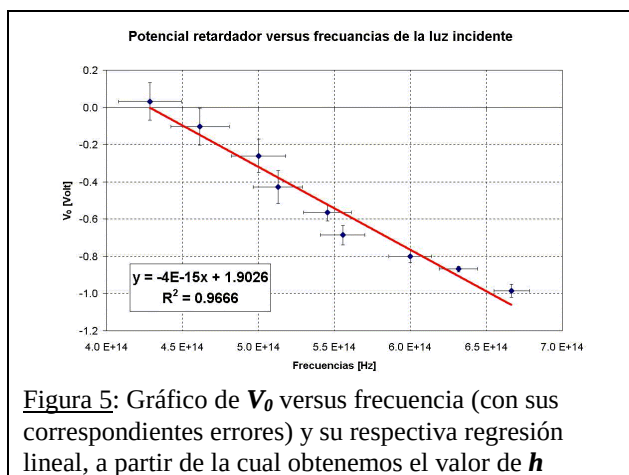


Figura 4: Método utilizado para determinar el valor de V_0 .

En la figura 5 se muestra el gráfico obtenido para V_0 , a partir del método antes descrito, en función de la frecuencia.



A partir de la pendiente de la regresión lineal de la figura 5 ($m = (-4.4 \pm 0.3) \times 10^{-15} \text{ J.seg/C}$), obtenemos el valor de h multiplicando a dicha pendiente por la carga del electrón⁽⁴⁾ (según el modelo de la ecuación 2):

$$h = (6.4 \pm 0.5) \times 10^{-34} \text{ J.seg}$$

La función trabajo puede ser calculada a partir de la ordenada al origen de la regresión lineal de la figura 5. Sin embargo, es importante aclarar que este método no es el más adecuado para determinar esta función, ya que, en realidad, el potencial V_0 es suma del potencial que uno mide entre el cátodo y el ánodo y un potencial de contacto. Una forma más adecuada de calcular la función trabajo consistiría en variar lentamente la frecuencia hasta hallar un valor mínimo de la misma, ν_m , de forma tal que si $\nu < \nu_m$, no llegará ningún electrón al ánodo. Es decir, que para ν_m , la energía del fotón es la necesaria para arrancar al electrón con energía cinética cero. De esta forma, la ecuación 2 se transforma en:

$$0 = h\nu_m - \phi \quad (\text{Ec. 3})$$

A partir de allí, y conociendo el valor de h , puede despejarse la función trabajo.

Lamentablemente, debido a problemas de carácter técnico en uno de los días de medición, no pudimos estudiar este parámetro.

Conclusiones

Si bien el valor de la constante de Planck obtenido por nosotros ($h = (6.4 \pm 0.5) \times 10^{-34} \text{ Joule.seg}$) coincide, dentro del error experimental, con el valor tabulado⁽⁵⁾ ($h = (6,626 \pm 0,003) \times 10^{-34} \text{ Joule.seg}$), es importante aclarar que los valores de V_0 para cada frecuencia se midieron con una gran incerteza. Esta incerteza se origina, en su mayor parte, en la dificultad para determinar el punto donde el fotovoltaje deja de tener un comportamiento lineal. Para reducir este error

sería conveniente realizar varias mediciones para cada longitud de onda, de manera de minimizar el error estadísticamente.

Referencias

- (1) P. A. Tipler, *Física*, (Editorial Reverté, S. A., Barcelona, 1994), pág. 1148–1152
- (2) H. E. White, *Física moderna*, (Montaner y Simón, S. A., 1979), pág. 757–761.
- (3) Guía de la cátedra de Laboratorio 5, *Efecto Fotoeléctrico*.
- (4) L. A. Sena, *Unidades de las magnitudes físicas y sus dimensiones*, (Editorial Mir, Moscú, 1979), pág. 296–297.
- (5) H. Pender y W. Del Mar, *Electrical Engineers' Handbook*, (John Wiley & Sons, Inc., 1949), pág. 1–82.

Otra bibliografía consultada

- D. Boys, M Cox y W. Mykolajenco, *Am. J. Phys* **46**, 133 (1978).
- A. W. Knudsen, *Am. J. Phys* **51**, 725 (1983).