

Experimentos vinculados con Efecto Fotoeléctrico – Lic. Mariela Josebachuili

Esta práctica (enmarcada dentro de las prácticas usuales correspondientes a Laboratorio 5) permite abordar temas muy variados tanto en cuanto a contenidos como en cuestiones vinculadas con el instrumental y el análisis de datos. El principal objetivo es estudiar el **efecto fotoeléctrico**. Para ello se han sugerido dos opciones de fuente de radiación visible empleada: **A) un diodo emisor de luz (LED)** y **B) una lámpara incandescente**.

Normas de seguridad. Antes de comenzar con el desarrollo de la práctica, es importante volver a mencionar cuáles son las normas de seguridad tanto para la protección del quien ejecuta la práctica como del instrumental que se emplea (además de solicitar que hayan leído las mismas de la página web). En esta práctica no se emplean materiales cuya tensión de alimentación se considere de alta tensión, sin embargo sí se debe resaltar que, dependiendo de la fuente de radiación empleada, y si se usa una lente para concentrar la luz de dicha fuente, no es recomendable la exposición directa del ojo de quien realiza la práctica (tampoco a la salida del monocromador). Adicionalmente, para el cuidado del material a emplear, se recomienda la lectura del manual correspondiente al instrumental de adquisición (Lock-in y software dedicado) así como evitar la exposición del fototubo a la luz. Aquí debe aclararse que el fototubo reduce su vida útil por exponerlo a la luz, independientemente de si está alimentado o no. Durante el período de tiempo en que no se esté midiendo o se haya desmontado el dispositivo, el fototubo debe permanecer tapado, para evitar la exposición prolongada a la luz.

¿Qué fenómeno estamos estudiando? Esta práctica nos permitirá estudiar el efecto fotoeléctrico (por el cual recibió Einstein el premio nobel en 1921), así como obtener el cociente entre la constante de Planck (h) y la carga del electrón (e), constantes fundamentales en la física atómica. De manera simple, se puede definir como efecto fotoeléctrico al proceso por el cual se liberan electrones de un material por la acción de la radiación electromagnética. Esos electrones emitidos se los llama fotoelectrones [1]. Lo interesante es que, como mostrara Einstein, la energía que en un solo proceso un electrón

absorbe de una radiación electromagnética de frecuencia ν es exactamente $E = h\nu$, donde $h = (6.62 \cdot 10^{-34})$ J·s es conocida como la constante de Planck [2]. Los electrones son emitidos con energía cinética máxima $T_{\text{Max}} = h\nu - \phi_c$ (Ec. 1), donde ϕ_c (función trabajo del cátodo) corresponde a la mínima energía necesaria para que el electrón se escape del metal. De esto se deduce que existe una frecuencia mínima (ν_{min}) tal que para frecuencias menores a ν_{min} no hay emisión de electrones, puesto que no pueden alcanzar la energía mínima necesaria para escapar del metal. Luego, si $\nu = \nu_{\text{min}}$ se cumple que $h\nu_{\text{min}} = \phi_c$ (Ec. 2). Si esto es así, sin importar la intensidad de la radiación incidente, podremos observar entonces experimentalmente el valor de ν_{min} y determinar así ϕ_c (**función trabajo del cátodo**) con precisión.

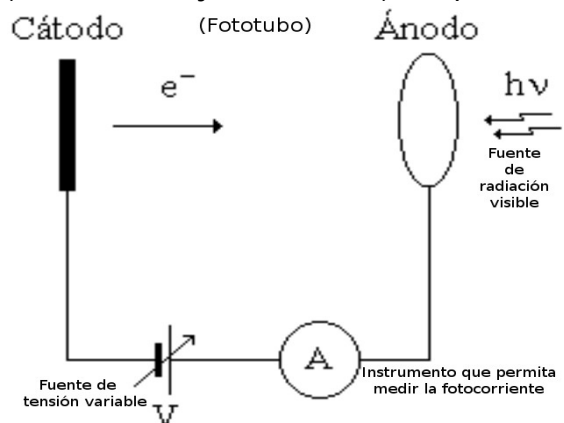


Fig1. Configuración básica de un experimento para estudiar el efecto fotoeléctrico.

Imaginemos una configuración como la de la Fig. 1. Si entre el ánodo y el cátodo ponemos una diferencia de potencial V negativa (potencial retardador), 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: $eV_0 = h\nu - \phi_a$ (Ec. 3). Luego, midiendo la fotocorriente en función del potencial retardador V (para distintas frecuencias incidentes), se puede obtener V_0 ; y de la relación entre V_0 y ν (Ec. 3) determinar ϕ_a/e como la ordenada al origen y h/e como la pendiente. El problema con la determinación de ϕ_a es que en realidad estamos midiendo también el potencial de contacto. Para entender la relación entre ϕ_a , ϕ_c y la función trabajo del cátodo se sugiere leer [3] (no confundir ϕ_a y ϕ_c). **El experimento.** Por ser alumnos de Laboratorio 5 considero que es importante acompañar al alumno.

Sin embargo hay que procurar también que sean capaces, mediante la discusión en cada grupo, de superar dificultades sin ayuda del docente, poder leer los manuales, diseñar una estrategia que le permita alcanzar los objetivos de cada etapa y recurrir al docente en caso de encontrarse desorientado. Por eso considero importante que se proponga al alumno que concurra cada clase a medir con una planificación clara y concreta de lo que van a hacer (además de leer el material correspondiente a la práctica). Esto puede complementarse, entre clase y clase, con lectura de material adicional o bien el análisis de lo medido. Todo este trabajo de preparación ayuda al desarrollar un hábito en la forma de abordar un experimento, así como también permite la opción de que surjan ideas o propuestas diferentes en la metodología empleada (fomentando el proceso creativo). Asimismo, es importante por parte del docente, acercarse a cada grupo y hacer todas las preguntas que sean necesarias para asegurarse que el alumno no esté omitiendo el aprendizaje de contenidos y técnicas. Por cuestiones de espacio disponible, se describe muy brevemente algunos de los alcances posibles de la práctica y se sugieren algunas lecturas complementarias a la guía para facilitar la comprensión y mejorar el análisis.

Puntos experimentales relevantes. Parte del instrumental puede resultar nuevo para el alumno. Por tanto, es importante que empleen tiempo en comprender el funcionamiento de todo el instrumental y su utilidad (función) en esta práctica.

Fototubo. Es interesante discutir con cada grupo el esquema de su funcionamiento, puesto que es donde se producirá el efecto que queremos estudiar. Es importante asegurarse que el alumno comprenda el fenómeno físico que está sucediendo así como también por qué podremos lograr medirlo con el montaje experimental propuesto.

Lock-in. Es un instrumento que deberían haber empleado en al menos en una práctica durante laboratorio 4. Sin embargo, me parece interesante preguntar a los alumnos sobre su funcionamiento, por qué en esta práctica resulta de utilidad este instrumental (acá es importante mencionar el orden de magnitud de la corriente que se desea medir, y preguntarles qué otros instrumentos conocen que miden corriente en ese rango).

Monocromador. Probablemente sea la primer práctica que utilicen este tipo de monocromador.

Según el esquema sugerido en la Fig. 2, el dispositivo empleado es un monocromador de prisma. Hay disponible en el laboratorio un manual de su funcionamiento. Sugiero discutir con los alumnos qué resolución se puede alcanzar con este monocromador y si es necesario calibrarlo (como sí es necesario, discutir con ellos cómo proceder para llevar a cabo este objetivo).

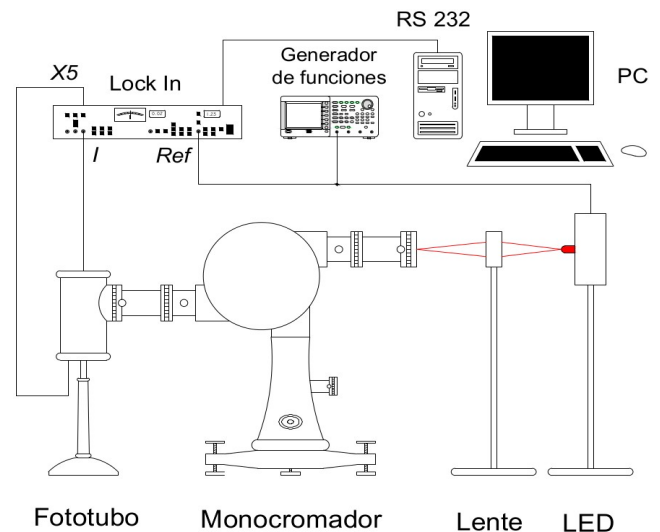


Fig. 2. Esquema del dispositivo experimental.[4]

Fuente de radiación visible. Independientemente de la fuente de radiación elegida, necesitamos tener una señal de referencia para indicarle al Lock-in cuál es la frecuencia de interés en las mediciones (si los alumnos conocen el funcionamiento del Lock-in, deberían deducir esto solos). Antiguamente, la práctica se realizaba empleando como fuente de radiación visible **una lámpara incandescente**. Para poder tener una señal de referencia, se interrumpía la luz con un obturador (chopper) a frecuencia conocida (se medía con un fotogate, ver esquema de la guía de la práctica [5]). Sin embargo, se ha actualizado la práctica para poder hacer uso de **LEDs**. Por su diversidad en intensidades y espectros de emisión, resulta ser más práctico un montaje como el de la Fig. 2, donde la señal de referencia coincide en frecuencia con la señal de alimentación del LED (acá se puede proponer que ellos mismos prueben si es necesario o no incluir una lente para aumentar la intensidad de luz incidente). De esta forma, en ambos casos, la frecuencia de la señal de referencia del Lock-in coincide con la de la fotocorriente que nos interesa medir. Para ambas posibles configuraciones será necesario discutir con los alumnos el espectro de emisión de la fuente de radiación de luz visible y si

es útil (o no) dependiendo de qué fenómeno queramos observar (por ejemplo, en el caso que se pretenda determinar v_{\min} y a partir de ahí la función trabajo, es importante asegurarse que el entorno a v_{\min} esté contenido dentro del espectro de emisión de la fuente elegida).

Llegado este punto se recomienda proceder al montaje del experimento y continuar con los puntos experimentales relevantes durante el desarrollo de las mediciones. Por lo general la guía [5] suele ser suficiente para que puedan hacer las primeras mediciones. No está pautado, pero si no recuerdan cómo emplear el Lock-in, puede proponerse que primero intenten medir una señal conocida. En la PC, el software empleado es un software de LabView especialmente programado para esta práctica, que permite cambiar el potencial aplicado al fototubo y medir asimismo la corriente. Antes de empezar a medir se sugiere que alguno de los docentes se acerque al grupo y se asegure que no entre luz en el fototubo (evitar contaminación de otras frecuencias de luz) y que asimismo esté conectado correctamente el fototubo (no estén intercambiadas la salida y la entrada).

El análisis. Para el análisis de los datos, se emplean diversas metodologías, que es interesante discutir las durante las clases (2) dedicadas al experimento. Lo primero que deben hacer es calibrar el monocromador a partir del empleo de fuentes que emitan el longitudes de onda conocidas (por ejemplo, lámparas de emisión). Luego, para el análisis, es importante que logren **determinar la constante de Planck** (o más correctamente el cociente h/e , si no se usa el valor tabulado de la carga del electrón) y **la función trabajo del cátodo**. Para determinar h/e se propone hacer un ajuste de la relación entre V_0 y la frecuencia de la radiación incidente (ν). Acá lo más interesante es la discusión sobre cómo determinar V_0 , a partir de la curva de fotocorriente en función de el potencial retardador. Para ello existe el método usual (Fig. 3). Este método arroja valores de h que difieren en un $\sim 20\%$ del valor tabulado. Por otra parte, se puede hacer uso de la teoría sobre emisión fotoeléctrica de Fowler (1931), en la que se analiza dicho efecto suponiendo que los electrones obedecen las leyes estadísticas de Fermi-Dirac [6]. Fowler establece que la fotocorriente, I , depende de la frecuencia de emisión, ν y de la temperatura, T del fototubo, en la forma: $\log_{10}(I/T^2) = \Phi(\delta) + B$, donde $\delta = (h\nu - \phi_c)/k_B T$.

Una descripción de la teoría asociada y de la función universal de Fowler puede encontrarse en [5]. Para hallar el potencial de frenado, entonces, lo que hay que hacer es superponer la curva de Fowler con la del logaritmo de la fotocorriente a temperatura constante y ver el punto de $\delta = 0$ a qué valor de voltaje corresponde [7]. Esto se debe a que en ese punto $h\nu - \phi_a = 0$ y luego, a partir de ese voltaje en adelante, los electrones adquieren la energía suficiente para ser expulsados del metal [8].

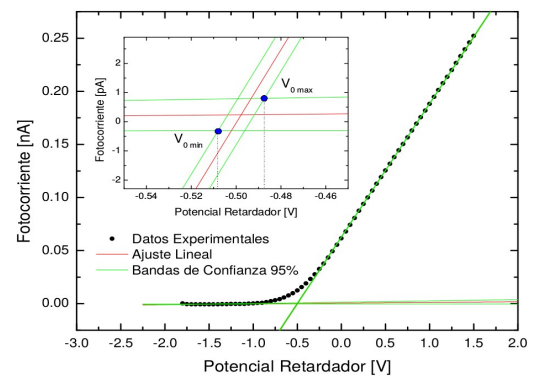


Fig 3. Antiguo método para la determinación de V_0 . [4] En cuanto a la determinación de la función trabajo del fotocátodo, es importante aclarar que se debe emplear una fuente de radiación cuyo rango de emisión contenga la v_{\min} que se quiera medir, para asegurarse que la ausencia de fotocorriente sea por el efecto que queremos observar y no por falta de intensidad de la fuente de radiación. Se puede sugerir a los alumnos que midan ellos mismos el espectro de la fuente que elijan con un fotodetector.

Referencias. [1] M. Alonso, E. Finn, FISICA, Volumen III: Fundamentos cuánticos y estadísticos (FEI, Barcelona, 1971), pp. 12-15. [2] D. R. Lide, ed., CRC Handbook of Chemistry and Physics, Internet Version 2007 (87th Edition, Florida, 2007), Cap. 1, pp. 2 [3] J. Rudnick and D.S. Tannhauser, Concerning a widespread error in the description of the photoelectric effect. AJP (44) 8 (1976), pp 796 [4] Determinación de h/e a través del efecto fotoeléctrico. M. D. Bordenave y D. A. Galante. Práctica pautada de laboratorio. Laboratorio 5, DF, FCEN, UBA. Octubre 2009. [5] Apunte de laboratorio 5, Efecto Fotoeléctrico, Depto de Física, FCEyN, UBA. [6] L. DuBridge, A further experimental test of Fowler's theory of photoelectric emission, PR Vol.39 (1932), pp.1-3 [7] A. Knudsen, The photoelectric determination of h/e : A new approach to an old problem, AJP (51) 8 (1983), pp.725-727 [8] R.H. Fowler, Statistical Mechanics: The theory of the properties of matter in equilibrium (Cambridge University Press, Cambridge, 1955), pp. 358-362.