

Práctica 2: Efecto Fotoeléctrico

Carlos Rubén Carrera Padilla, Orozco González Luis René
Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
Fecha de entrega: 9 de enero de 2020

9 de enero de 2020

Resumen

Para poder comprobar la existencia de la constante de Planck, fundamental para la física moderna, que establece una relación entre la energía y la frecuencia de una onda, hemos estudiado el efecto fotoeléctrico con la intención de medirla.

Los objetivos de la presente práctica fueron la calibración de un monocromador para el espectro de una lámpara de Hg y el estudio del efecto fotoeléctrico producido en un tubo foto-multiplicador. Se logró la determinación de la recta de calibración del monocromador, se observó la corriente fotoeléctrica para distintas frecuencias y a partir de ellas se determinó la constante de Planck, la cual dio un valor $h = (2.69 \times 10^{-34} \pm 0.78 \times 10^{-35}) Js$, y la función de trabajo del cátodo $W = (5.3 \times 10^{-16} \pm 5.9 \times 10^{-17}) eV$, siendo este el mínimo voltaje del Antimoniuro de Cs para la emisión de electrones. Se propone que para obtener mejores datos, se utiliza solo una escala en el electrómetro para una sola línea de emisión, así como un control de las señales de luz.

1. INTRODUCCIÓN

Cuando se hicieron experimentos con la luz incidiendo sobre metales y esta producía una corriente eléctrica, la teoría clásica, la vigente en esa época (finales del siglo XIX), predecía que a mayor intensidad de luz la corriente producida aumentaría, pero los experimentos mostraban que no era así, sino que lo que sucedía es que la intensidad de corriente dependía de la frecuencia de la luz y no de su intensidad lumínica.

Entonces a principios del siglo pasado cuando Einstein explicó el efecto fotoeléctrico usó la relación entre la energía y la frecuencia i.e. $E = h\nu$ propuesta por Max Planck, entonces el principal propósito es medir la constante h , una limitación de este método pues es el metal en el foto tubo ya que tiene mayor respuesta a ciertas longitudes de onda.

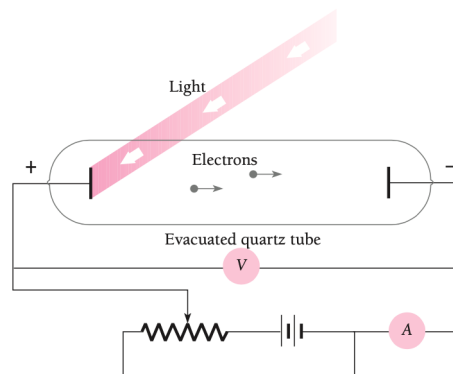


Figura 1: Esquema experimental del efecto fotoeléctrico. [1] Beiser and A.N. Jaimes. *Conceptos de Física moderna*. [Figura 2.9]

1.1. Efecto Fotoeléctrico

Sabemos que cuando los electrones inciden sobre una superficie metálica pueden pasar distintas cosas, un factor que influye es la energía con la que inciden, y pueden ser reflejados o desaparecer cediendo toda su energía para poder desprender electrones libres del metal donde impactan los electrones desprendidos. Colocando el arreglo experimental que

consta de una placa donde incide la luz y un cátodo, en este cátodo impactarán los electrones generando una corriente, en principio a $v = 0$ como se observa en la Figura 1, pero si se aplica una diferencia de potencial esta acelerará a los electrones desprendidos de la placa receptora incrementando la corriente generada; este efecto se puede

observar al contrario cambiando la polaridad de las placas, generando así un potencial de "frenado", notemos que a mayor frecuencia de la luz el potencial aumentará.

Ya habiendo definido el potencial de frenado definiremos ahora k_{max} como la energía cinética máxima de los electrones desprendidos, esta la igualaremos a la energía potencial (eV_0) que le imprime nuestra fuente a las placas del foto tubo, claramente esta relación se satisface cuando $I = 0$, tomando la relación $E = h\nu$ tendríamos que:

$$eV_0 = h\nu - W \quad (1)$$

donde W es la función de trabajo del material de la placa donde inciden los fotones a frecuencia ν , definamos W como la frecuencia mínima para la cual el material comienza a desprender electrones, i.e. en el límite cuando $V_0 = 0$

obtenemos la relación:

$$h\nu = h\nu_0 \quad (2)$$

teniendo así una ecuación de la forma $y = mx + b$ que tiene un comportamiento lineal, con h determinando la pendiente y ν_0 determina la ordenada al origen.

Con lo que para $\nu < \nu_0$ la onda incidente no contara con energía suficiente para poder desprender electrones de la placa metálica, teniendo observaciones nulas del efecto fotoeléctrico.

1.2. Funcionamiento del foto-tubo

Un foto-tubo consiste en un cátodo semicilíndrico y un ánodo de alambre sellados dentro de un recipiente transparente al vacío. La superficie cóncava del electrodo esta compuesto por una capa de material foto-emisor, tiende a emitir electrones cuando es irradiado.

El cátodo es un semiconductor de un metal alcalinos: sodio, potasio, rubidio o cesio, combinados químicamente con bismuto, antimonio u óxido de plata. La superficie del cátodo contiene un exceso crítico del metal alcalino que disminuye la afinidad de aquella hacia los electrones, favoreciendo así la emisión fotoeléctrica. En particular, el tubo que se empleó contiene antimoniuuro de cesio, el cual posee rendimientos elevados y una baja función de trabajo.[2]

En este experimento se utilizó un tipo de foto-tubo, conocido como foto-multiplicador, especial para mediciones de la potencia radiante baja. La superficie del foto-cátodo es similar en composición a la de las superficies de los foto-tubos ordinarios y emite electrones cuando se expone a la radiación. El tubo también contiene electrodos adicionales llamados dínodos. Cada dínodo se encuentra sometido a un voltaje específico con la intención de acelerar a los electrones hacia el. Cada foto-electrón que choca contra el dínodo ocasiona la emisión de varios electrones adicionales por un proceso que se conoce como *Emisión secundaria*. A su vez, estos nuevos electrones son acelerados hacia el siguiente dínodo repitiendo el proceso. Después de repetirse nueve veces, se han formado aproximadamente de 106 a 107 electrones por cada fotón incidente. Por último esta cascada de electrones se reúne en el ánodo y la corriente resultante se transforma en un voltaje y se mide [3].

2. MÉTODO EXPERIMENTAL

Para hacer el montaje del experimento se utilizó:

1. Lámpara de **Hg**.
2. Monocromador Minimate SS7301.
3. Foto tubo IP-37.
4. Fuente de voltaje y multímetro (*Steren*).
5. Electrómetro (*Keithley 601C*).
6. Colimadores.

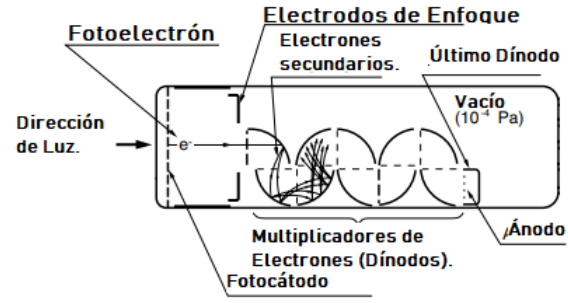


Figura 2: Diagrama de tubo foto-multiplicador. [4]Photonics, Hamamatsu. *Photomultiplier tubes*. [Figura 1]

7. Un par cable banana-banana.
8. Un cable BNC-BNC.
9. Un cable BNC-HF

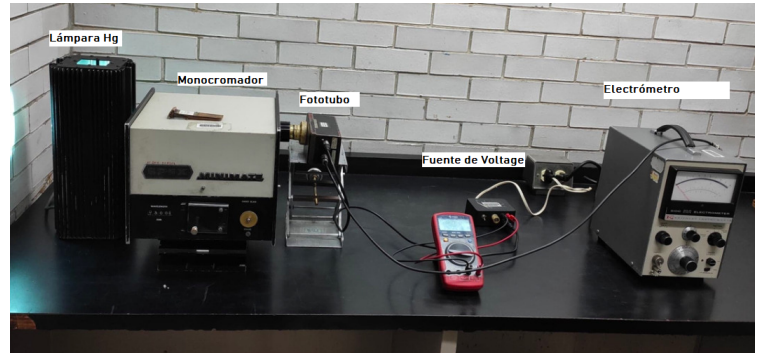


Figura 3: Fotografía de arreglo experimental.

Para la realización del experimento se colocó la apertura de lámpara de mercurio en la apertura de entrada del monocromador. El monocromador consiste en un arreglo óptico (prisma y espejos), que separan y permiten seleccionar longitudes de onda. En la salida del monocromador se coloca el tubo foto-multiplicador.

El tubo multiplicador se conecta a su fuente de voltaje y se mide dicho voltaje en paralelo. Por otro lado, el tubo está conectado, también, al electrómetro mediante el cable BNC-HF. El voltaje de la fuente corresponde al potencial de frenado, mientras que, la corriente medida por el electrómetro esta relacionada con los electrones que llegan a ánodo del foto-tubo. Para regular la intensidad de la luz emitida se colocaron un par de rejillas de (0.5 ± 0.005) cm. Una vez verificado que todas las perillas estén en cero y todo este conectado, la fuente, el electrómetro y la lámpara, se encienden.

2.1. Método.

Se obtuvo la curva de calibración del monocromador para poder calcular la corrección sobre las longitudes de onda del espectro del **Hg**, ver **figura 4**, donde debemos obtener una curva de la forma $y = mx$, con $m = 0.97955 \pm 0.006546$ es decir con error de 0.6683 %, obtenemos la siguiente **tabla 1**, se eliminaron los datos correspondientes al azul (502.1 nm) debido a que no esta bien definido.

Lo anterior se busco alrededor de los valores de la longitud de onda $\lambda(nm)$ que se hallan en la literatura para este caso se uso los datos del libro *Melissinos*[5] de manera que se le fue variando a la longitud de onda al monocromador alrededor de cada uno de esos valores hasta determinar un máximo dependiendo en función de la intensidad de la luz proveniente del monocromador.

Una vez localizados las frecuencias de luz características, se colocó el monocromador en alguna longitud de onda λ seleccionada y se varió el voltaje proveniente de la fuente. Se registró el voltaje entregado por la fuente y la corriente medida por el electrómetro las variaciones se llevaron acabo en el rango de -3 V a 3 V en la fuente con un paso de 0.3 V.

A continuación, se localizó el punto para el cual el comportamiento de nuestras curvas cambiaba dependiente, generando dos rectas hipotéticas que cortan. Estos puntos se asocian a su respectivo voltaje y dependen de la frecuencia con la que se esta incidiendo. A partir de la recta que une estos cuatro puntos en una gráfica de frecuencias contra voltaje se puede encontrar a buscar el valor de h (pendiente) y función de trabajo (ordenada al origen).

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la calibración de las líneas de emisión de la lámpara de mercurio se encontraron cuatro de sus frecuencias características: La diferencia entre la reportada experi-

Longitud De Onda (nm)		
Real	Fabricante ($\pm 0.6683\%$)	Experimental (± 0.05)
435.89	426.6	435.5
546.01	534.6	502.5
578.97	565.8	546.1
690.75	602.2	615.2

Tabla 1: Comparación de Longitudes de Onda de Literatura [5], fabricante y experimental medida.

mentalmente y la registrada por el fabricante puede ser resultado de la dificultad para discernir la intensidad para las regiones cerca de las regiones reportadas por el fabricante, así como dificultades para definir precisar el color. A continuación se midió las corrientes fotoeléctricas generadas al variar el voltaje para cada longitud de onda. Las variaciones se llevaron acabo en el rango de -3 V a 3 V en la fuente con un paso de 0.3 V. Se puede observar un comportamiento similar entre las curvas como se esperaba.

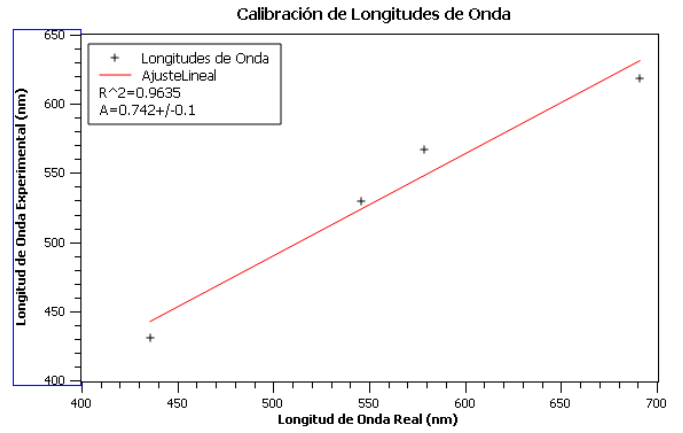


Figura 4: Gráfica de comparación entre longitud de onda real [5] y experimental obtenida.

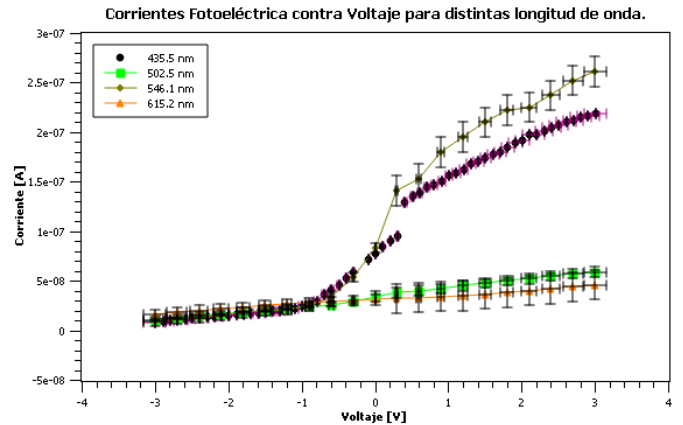


Figura 5: Gráfica de corrientes fotoeléctricas contra voltajes para distintas longitudes de onda.

La región curva de cada serie de datos se puede apreciar mejor de forma individual.

Puede apreciarse en las mediciones de corrientes fotoeléctricas contra voltajes que en cada curva hay dos regiones de interés: una que tiene una tendencia datos casi horizontal y otra con una tendencia de los datos sobre una recta oblicua. Se tomó como criterio asignar el valor de V_0 al punto donde estas dos rectas hipotéticas se intersecan. Esto debido a que teóricamente esa región corresponde al punto en el cuál aparece la corriente fotoeléctrica, es decir cuando se vence a la función de trabajo. A continuación, fig(6), se ejemplifica el procedimiento realizado. A partir de estas consideraciones se obtuvieron los valores de V_0 para las frecuencias correspondiente. Hay que recordar que $\lambda\nu = c$ para hacer la correspondencia con frecuencias. Gráficamente, se puede encontrar la recta que contiene a estos puntos. Recta cuya pendiente corresponde al valor de h y ordena a W , ambos con el factor de una carga

1

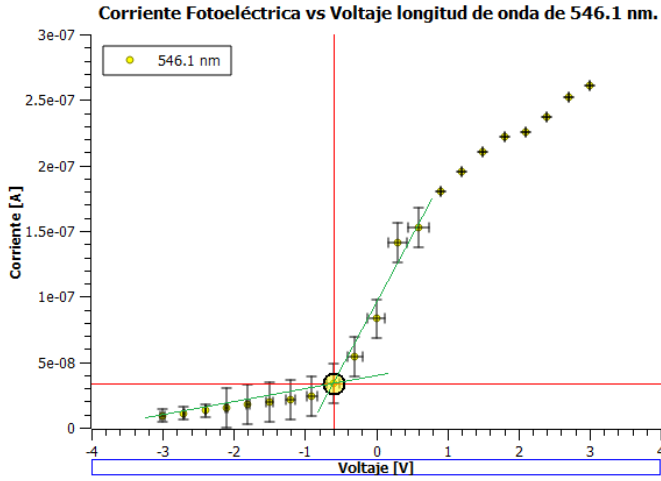


Figura 6: Gráfica de corriente fotoeléctrica contra voltaje para longitud 546.1 nm. Se muestra el procedimiento realizado de trazo de rectas hipotéticas para señalar el punto de inflexión asociado a V_0 .

Longitud De Onda [nm] (± 0.05)	Frecuencia [Hz] ($\pm 5e12$)	Voltaje [V] ($\pm 3e-3$)
435.5	6.888E+14	-0.824
502.5	5.970E+14	-0.762
546.1	5.493E+14	-0.580
615.2	4.876E+14	-0.493

Tabla 2: Tabla de Longitud de Onda con su respectiva frecuencia y voltaje asociado para cada longitud de onda.

eléctrica.:

$$V = \frac{h\nu}{e} + \frac{W}{e}$$

De donde $A = h/e$, considerando $e = 1.602 \times 10^{-19} C$

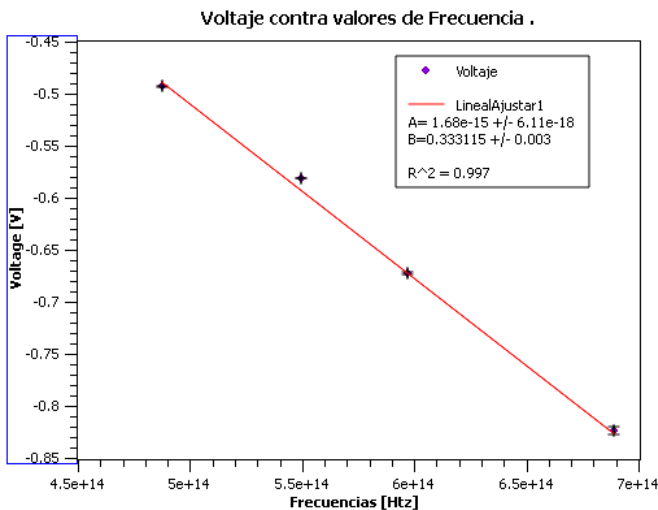


Figura 7: Gráfica de Voltaje contra frecuencias distintas.

trabajo del antimonio de cesio W .

$$h = 2.69 \times 10^{-34} \pm 0.78 \times 10^{-35} Js$$

$$W = 5.3 \times 10^{-16} \pm 5.9 \times 10^{-17} eV$$

Comparando con la literatura, [6], el valor de $h = 6,6210^{-34}$ y $W = 2.1 \times 10^{-17}$. Por lo tanto el resultado experimental que obtuvo tiene un error relativo del 59 % en h .

A pesar de lo grande que parece el error porcentual, se presenta como un resultado satisfactorio para nosotros debido a lo cercano que están las medidas de la literatura y los estimados experimentalmente; la constante de Plank posee mismo orden de magnitud mientras que la función de trabajo difiere en un orden de magnitud..

Por lo tanto, tal como se plateo en los objetivos, se logró observar la corriente fotoeléctrica para distintas longitudes de onda y , a partir de esta, estimar los valores de h y la función de trabajo.

Con la intención de ayudar a la reproducibilidad del experimento, se recomienda tener muy en cuenta la escala a la cual se coloca el electrómetro en las mediciones de corriente contra voltaje, debido a que si se cambia de escala en una misma corrida se introduce un error considerable. Además, se recomienda tener control y reducir las señales externas de luz, debido a que son una clara fuente de ruido para las mediciones.

4. CONCLUSIONES

Se calibró el monocromador para el espectro de una lampara de Hg . Se logró observar la corriente fotoeléctrica para distintas longitudes de onda y se encontraron los valores del potencial umbral V_0 con los cuales estimar la constante de Plank.

Se obtuvo un valor de la cual dio un valor $h = (2.69 \times 10^{-34} \pm 0.78 \times 10^{-35}) Js$, y la función de trabajo del cátodo $W = (5.3 \times 10^{-16} \pm 5.9 \times 10^{-17}) eV$ del Antimonio de Cs .

REFERENCIAS

- [1] A. Beiser and A.N. Jaimes. *Conceptos de física moderna*. McGraw Hill, 1981. ISBN 9789684512351. URL <https://books.google.com.mx/books?id=WiOWAAAACAAJ>.
- [2] Berkeley Physics Course. *Laboratory physics Part C and D*. McGraw-Hill Book Company, second edition, 1971.
- [3] Douglas A Skoog, F James Holler, Timothy A Nieman, and María del Carmen (trad.) Martínez Gómez. *Principios de análisis instrumental*. 2001.

- [4] Hamamatsu Photonics. *Photomultiplier tubes*. Hamamatsu, 2000.
- [5] Adrian C Melissinos and Jim Napolitano. *Experiments in modern physics*. Gulf Professional Publishing, 2003.
- [6] Paul A Tipler and Ralph Llewellyn. *Modern physics*. Macmillan, 2003.