



Universidad Tecnológica de Bolívar

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FÍSICA CALOR Y ONDAS

GRUPO Y SUBGRUPO (M1 - A)

Informe Experiencia. 7 - Efecto Fotoelectrico.

Esmeralda Espitaleta Leguia, T00077047.

Jose Jorge Montes Bustillo, T00070416.

Paula Andrea Piedrahita Gonzalez, T00077912.

Mateo De Jesus Reyes Pereira, T00077079.

Alejandro Pedro Steinman Cuesta, T00077151.

Revisado Por

Prof. Kevin David Mendoza Vanegas.

27 de octubre de 2024

1. Introducción

El efecto fotoeléctrico es un fenómeno que ocurre cuando la luz incide sobre la superficie de ciertos metales, liberando electrones. Este comportamiento desafía la física clásica, ya que la energía de los electrones emitidos no depende de la intensidad de la luz, sino de su frecuencia. Albert Einstein, en 1905, explicó este fenómeno postulando que la luz está compuesta de partículas llamadas fotones, cuya energía es proporcional a la frecuencia de la luz. La energía cinética de los electrones emitidos está determinada por la ecuación de Einstein del efecto fotoeléctrico, donde la constante de Planck juega un papel crucial. Este experimento tiene como objetivo verificar esta ecuación midiendo la energía cinética de los electrones liberados al irradiar luz monocromática sobre una celda fotoeléctrica.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Verificar experimentalmente la ecuación de Einstein para el efecto fotoeléctrico y determinar la constante de Planck a través de la medición de la energía cinética de los electrones emitidos por una celda fotoeléctrica.

2.2. Objetivos específicos

- Medir la energía cinética máxima de los electrones emitidos en función de la frecuencia de la luz incidente.
- Determinar la tensión límite para diferentes longitudes de onda de luz utilizando filtros de interferencia.
- Graficar la relación entre la tensión límite y la frecuencia de la luz, y obtener una regresión que permita calcular la constante de Planck.

3. Marco Teórico

3.1. Efecto Fotoeléctrico

Se refiere a la emisión de electrones desde una superficie metálica cuando es iluminada con radiación electromagnética, como la luz visible o ultravioleta. Además, este fenómeno fue uno de los primeros indicios de la dualidad onda-partícula de la luz y llevó a importantes avances en la física cuántica.

Un dato interesante es que Albert Einstein explicó el efecto fotoeléctrico en 1905, esto fue lo que le valió el Premio Nobel de Física en 1921.

La interpretación clásica de la luz como una onda no podía explicar ciertos aspectos observados en el fenómeno, como el hecho de que no todos los colores de luz inducen la emisión de electrones desde una superficie, lo cual llevó a la formulación del concepto de fotones, partículas discretas de luz [2].

3.2. Teoría Clásica de la Luz

Antes del descubrimiento del efecto fotoeléctrico, la luz se consideraba principalmente una onda electromagnética, según la teoría electromagnética de Maxwell. Esta teoría proponía que la energía de la luz era proporcional a su intensidad, sin importar la frecuencia de la radiación. Sin embargo, el experimento del efecto fotoeléctrico mostró que la energía de los electrones emitidos depende únicamente de la frecuencia de la luz y no de su intensidad. Este comportamiento contradecía la teoría ondulatoria clásica y sugería que la energía de la luz estaba cuantizada en pequeños paquetes, conocidos como: cuantos o fotones [3].

3.3. Experimento del Efecto Fotoeléctrico

En el experimento típico del efecto fotoeléctrico, un metal se expone a luz de alta frecuencia, y se observan los electrones que son emitidos de su superficie. Los resultados fundamentales del experimento fueron:

- No importa cuán intensa sea la luz, si su frecuencia es menor a un valor umbral (frecuencia de corte), no se emiten electrones.
- Si la frecuencia de la luz es mayor que la frecuencia de corte, la energía cinética de los electrones emitidos aumenta con la frecuencia, pero no depende de la intensidad de la luz.
- La emisión de electrones ocurre sin retardo de tiempo, incluso con intensidades de luz muy bajas, lo cual sugiere que los electrones absorben la energía de los fotones de manera instantánea [4].

Estos resultados son cruciales porque no podían ser explicados por la teoría clásica de la luz, donde se esperaba que la energía se acumulase con el tiempo y que eventualmente cualquier frecuencia pudiera emitir electrones si la intensidad era lo suficientemente alta.

3.4. Interpretación Cuántica de Einstein

Einstein propuso que la luz está formada por partículas llamadas fotones, cada uno con una energía dada por la ecuación:

$$E = h\nu \tag{1}$$

donde h es la constante de Planck y ν es la frecuencia de la luz. Einstein sugirió que, para que un electrón sea emitido de la superficie del metal, debe absorber un fotón con una energía mínima, denominada “trabajo de extracción” (ϕ). Si la energía del fotón es mayor que el trabajo de extracción, la diferencia se convierte en energía cinética del electrón emitido:

$$E_{cin} = h\nu - \phi \tag{2}$$

Esta ecuación no solo explica el efecto fotoeléctrico, sino que también introduce la idea de la cuantización de la energía en la luz, lo que abrió las puertas a la teoría cuántica [5].

3.5. Importancia en la Física Moderna

El efecto fotoeléctrico no solo fue clave para el desarrollo de la mecánica cuántica, sino que también tiene aplicaciones tecnológicas modernas. Se utiliza en dispositivos como las células fotovoltaicas, que convierten la luz en electricidad, y en detectores de luz como los fotodiodos y los tubos fotomultiplicadores. Además, la comprensión del efecto fotoeléctrico ha sido fundamental para la exploración de la física de partículas y el desarrollo de tecnologías basadas en la interacción entre la luz y la materia [6].

4. Montaje Experimental

Los materiales utilizados en esta practica fueron:

- 1 celda fotoeléctrica para determinar h
- 1 montura para celda fotoeléctrica
- 1 lámpara de mercurio de alta presión
- 1 portalámparas con ficha múltiple
- 1 bobina de reactancia universal 230 V, 50 Hz
- 1 lente $f = +100\text{ mm}$ y 1 diafragma de iris
- 5 filtros de interferencia
- 1 electrómetro amplificador
- 1 fuente de alimentación 230 V/12V /20 W
- 1 capacitor STE 100 nF, 630 V, 1 pulsador STE (interruptor), de un punto
- 1 voltímetro de CC
- 1 banco óptico, perfil normal 1 m
- 2 jinetillos ópticos, $H = 90\text{ mm}/B = 50\text{ mm}$
- 3 jinetillos ópticos, $H = 120\text{ mm}/B = 50\text{ mm}$
- 2 enchufes de bornes
- 1 casquillo BNC
- 1 adaptador BNC/4 mm
- 1 polo

- 1 ficha de acople
- 1 enchufe múltiple cuadrado



Figura 4.1: Montaje experimental

Para la toma de datos teníamos que intercambiar los diferentes lentes e ir reduciendo la apertura por donde pasaba un haz de luz, anotábamos los datos vistos en un rango de 40 a 60 segundos.

5. Datos Experimentales

En la realización de la experiencia se han obtenido los siguientes datos individuales:

- El material es potasio

$\lambda_{\text{hg}} = 365\text{nm}$	$\lambda_{\text{hg}} = 405\text{nm}$	$\lambda_{\text{hg}} = 436\text{nm}$	$\lambda_{\text{hg}} = 546\text{nm}$	$\lambda_{\text{hg}} = 578\text{nm}$	Apertura
1,38	1,045	0,988	0,518	0,206	Totalmente
1,31	0,98	0,97	0,496	0,166	Medio
1,125	0,886	0,86	0,4	0,149	Casi cerrado

Cuadro 1: Datos obtenidos en la experiencia

6. Análisis de datos

6.1. De acuerdo con el experimento, manteniendo el mismo filtro ¿cambió la tensión límite cuando se cambió la intensidad del haz incidente en la celda fotoeléctrica? ¿Qué indica el resultado?

Se mantuvo el mismo filtro y determinamos que con cierta longitud de onda, no hay cambio de intensidad, en estas ya que aun se encuentra dentro del rango, evidenciamos que dependiendo de la longitud de onda, obtenemos valores diferentes, a mayor radio de abertura, mayor será las tensiones límites

6.2. Realice una gráfica de V_0 como función de la frecuencia .

Frecuencia ν	Tensión V_0
5,186E+14	0,2v
5,489E+14	0,2v
6,878E+14	0,3v
7,408E+14	0,19v
8,202E+14	1,1v

Cuadro 2: Frecuencia y tensión para filtro pequeño



Figura 6.1: Grafica de V0 vs Frecuencia Filtro Pequeño

Frecuencia v	Tensión Vo
5,186E+14	0,25v
5,489E+14	0,2v
6,878E+14	0,34v
7,408E+14	0,2v
8,202E+14	1,35v

Cuadro 3: Frecuencia y tensión para filtro mediano



Figura 6.2: Grafica de V0 vs Frecuencia Filtro Mediano

Frecuencia v	Tensión Vo
5,186E+14	0,2v
5,489E+14	0,2v
6,878E+14	0,35v
7,408E+14	0,2v
8,202E+14	1,3v

Cuadro 4: Frecuencia y tensión para filtro grande



Figura 6.3: Grafica de V0 vs Frecuencia Filtro Grande

6.3. Mediante regresión encuentre la función analítica que mejor se ajusta a la gráfica de los datos experimentales V0 vs. f.

Se realizara el paso a paso para obtener la función analítica con v_0 promedio, este procedimiento se extrapolara para sacar las funciones analíticas de Totalmente abierto, Medianamente Abierto y Casi Cerrado (Estas funciones analíticas variaran "Y" según los datos en la Tabla 1) Para realizar el proceso de regresión, se procede de la siguiente manera:

1. Determinamos los valores del eje X y el eje Y según se muestra en la tabla 5.
2. A partir de estos valores, calculamos los valores de X^2 , Y^2 , XY , los cuales se presentan en la tabla 6.
3. Posteriormente, obtenemos la sumatoria de cada columna de la tabla anterior, generado en la tabla 7

X	Y
8.21918e+014	1.27167
7.40741e+014	0.970333
6.88073e+014	0.939333
5.49451e+014	0.471333
5.19031e+014	0.173667

Cuadro 5: Tabla X e Y

X	Y	XX	YY	XY
8.21918e+014	1.27167	6.75549e+029	1.61714	1.04521e+015
7.40741e+014	0.970333	5.48697e+029	0.941547	7.18765e+014
6.88073e+014	0.939333	4.73445e+029	0.882347	6.4633e+014
5.49451e+014	0.471333	3.01896e+029	0.222155	2.58974e+014
5.19031e+014	0.173667	2.69393e+029	0.0301601	9.01384e+013

Cuadro 6: Tabla X e Y e XX e YY e XY

S:X	S:Y	S:XX	S:YY	S:XY
3.31921e+015	3.82633	2.26898e+030	3.69335	2.75941e+015

Cuadro 7: Tabla Sumatorias

A partir de los resultados obtenidos, aplicamos las siguientes fórmulas para calcular la correlación, la pendiente y su correspondiente parámetro:

$$Correlacion = \frac{(N)(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[(N)(\sum x^2) - (\sum x)^2][N(\sum y^2) - (\sum y)^2]}} = > \frac{(5)(2,75941e+015) - (3,31921e+015)(3,82633)}{\sqrt{[(5)(2,26898e+030) - (3,31921e+015)^2][(5)(3,69335) - (3,82633)^2]}} = 0,97938$$

$$Pendiente = \frac{(N)(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{(N)(\sum x^2) - (\sum x)^2} = > \frac{(5)(2,75941e+015) - (3,31921e+015)(3,82633)}{(5)(2,26898e+030) - (3,31921e+015)^2} = 3,34632E^{-15}$$

$$Parametro = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{(N)(\sum x^2) - (\sum x)^2} = > \frac{(3,82633)(2,26898e+030) - (3,31921e+015)(2,75941e+015)}{(5)(2,26898e+030) - (3,31921e+015)^2} = -1,45616$$

La correlación nos da un valor de 0.98, lo que significa que el método de regresión es recomendable.

Con estos datos, determinamos la ecuación de la recta, que sigue la forma $y = mx + b$. Sustituimos los valores obtenidos para determinar la ecuación de la recta específica:

$$y = 3,34632E^{-15}x - 1,456$$

Mediante el procedimiento anterior obtenemos que las función analítica que mejor se ajusta a los siguientes casos son:

Totalmente abierto:

$$y = 3,5603E^{-15}x - 1,536$$

Medianamente Abierto:

$$y = 3,43533E^{-15}x - 1,496$$

Casi Cerrado:

$$y = 3,04332E^{-15}x - 1,336$$

- 6.4. Construya una gráfica de la función analítica encontrada superponiéndola a la gráfica con los datos experimentales realizada en el ítem 2.

Realizamos un promedio entre las 3 ecuaciones anteriormente encontradas:

$$V_0 = 2,7 \times 10^{-15} \nu - 1,2416$$

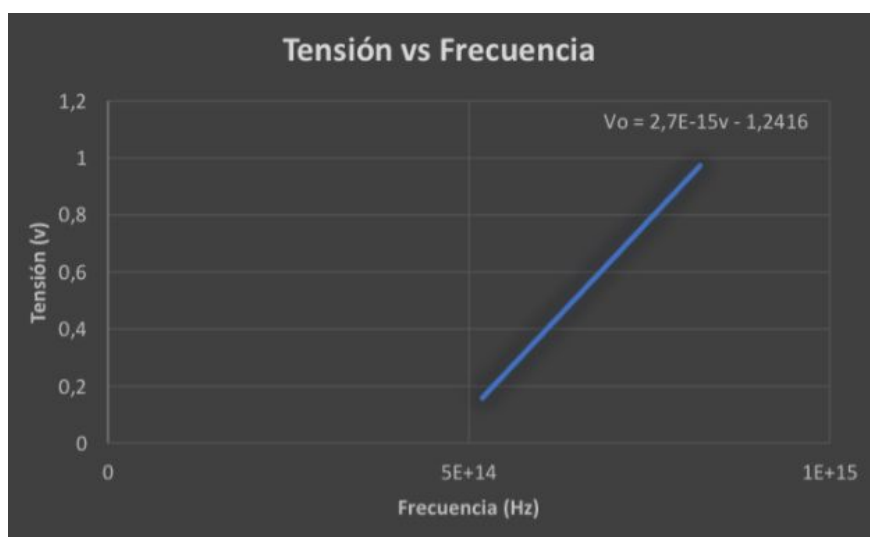


Figura 6.4: Grafica de Tension vs Frecuencia

- 6.5. Compare la función analítica encontrada en el ítem 3 con la ecuación (4) y calcule:

La constante de Planck,

Utilizando la ecuación 4:

$$eV_0 = h\nu - \varphi_0$$

$$V_0 = \frac{h}{e}\nu - \frac{\varphi_0}{e}$$

Teniendo que:

$$V_0 = 2,7x10^{-15}$$

$$e = 1,6x10^{-19}$$

$$V_0 = \frac{h}{e}$$

$$h = (2,7x10^{-15})(1,6x10^{-19})$$

$$h = 4,32x10^{-34} J.s$$

La función de trabajo de la celda fotoeléctrica y,

Teniendo que:

$$f_{prom} = 6,63x10^{14} Hz$$

$$h = 6,63x10^{-34} J.s$$

$$v = 6,63x10^{14}/s$$

Entonces:

$$\varphi = h * v$$

$$\varphi = 6,63x10^{-34} J.s * 6,63x10^{14}/s = 4,4x10^{-19} J$$

La frecuencia de corte necesaria para observar el efecto fotoeléctrico en la celda utilizada.

La frecuencia necesaria sería v , por lo tanto:

$$v = 6,63x10^{14}/s$$

Consulte una tabla de funciones de trabajo para diferentes materiales y diga de que material estaría construida la celda fotoeléctrica utilizada.

Observando la figura 6.5, podemos apreciar que el material del cual podría estar construida la celda sería el bario(Ba), ya que este presenta una función de trabajo de $\varphi = 4,3x10^{-19}$ y una frecuencia de $6,5x10^{14}$, muy similar a nuestros datos hallados.

Elemento	Función trabajo W_0		Longitud de onda umbral λ_0	Frecuencia umbral f_0
	eV	J		
Ag	4,73	$7,58 \cdot 10^{-19}$	262	$1,14 \cdot 10^{15}$
Al	4,08	$6,54 \cdot 10^{-19}$	304	$9,87 \cdot 10^{14}$
As	3,75	$6,01 \cdot 10^{-19}$	331	$9,07 \cdot 10^{14}$
Au	5,1	$8,2 \cdot 10^{-19}$	243	$1,2 \cdot 10^{15}$
Ba	2,7	$4,3 \cdot 10^{-19}$	459	$6,5 \cdot 10^{14}$
Be	4,98	$7,98 \cdot 10^{-19}$	249	$1,20 \cdot 10^{15}$
Bi	4,34	$6,95 \cdot 10^{-19}$	286	$1,05 \cdot 10^{15}$
C	5	$8 \cdot 10^{-19}$	248	$1,2 \cdot 10^{15}$
Ca	2,87	$4,60 \cdot 10^{-19}$	432	$6,94 \cdot 10^{14}$
Cd	4,08	$6,54 \cdot 10^{-19}$	304	$9,87 \cdot 10^{14}$
Ce	2,9	$4,7 \cdot 10^{-19}$	428	$7,0 \cdot 10^{14}$
Co	5	$8,0 \cdot 10^{-19}$	248	$1,2 \cdot 10^{15}$
Cr	4,5	$7,2 \cdot 10^{-19}$	276	$1,1 \cdot 10^{15}$
Cs	2,14	$3,43 \cdot 10^{-19}$	579	$5,17 \cdot 10^{14}$
Cu	4,7	$7,5 \cdot 10^{-19}$	264	$1,1 \cdot 10^{15}$

Figura 6.5: Tabla de función de trabajo

7. Conclusión

Mediante este experimento, se ha comprobado la validez de la ecuación de Einstein para el efecto fotoeléctrico, que establece que la energía de los electrones emitidos depende únicamente de la frecuencia de la luz incidente, pero también se establece que no depende de su intensidad. Se controla que el límite de tensión varía en función de la frecuencia de la luz utilizada, corroborando la relación entre la energía de los fotones y la energía cinética de los electrones. Los resultados obtenidos permiten calcular la constante de Planck y el trabajo de extracción del material de la celda fotoeléctrica. Asimismo, el análisis muestra que hay una frecuencia de corte por debajo de la cual no se emiten electrones, confirmando que la luz necesita tener una frecuencia mínima para provocar la emisión de electrones.

Para finalizar, se puede decir que este experimento es un ejemplo práctico de la naturaleza cuántica de la luz y la dualidad onda-partícula, y subraya la contradicción de este fenómeno con la física clásica.

Bibliografía

- [1] Young, H. D. Y Freedman, R. A. (2013). Física universitaria.
- [2] Einstein, A. (1905). “Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt”. *Annalen der Physik*, 17, 132-148.
- [3] Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). *Fundamentals of Physics*. 10th Edition. Wiley.
- [4] Millikan, R. A. (1916). “A Direct Photoelectric Determination of Planck’s “h” ”. *Physical Review*, 7(3), 355-388.
- [5] Tipler, P. A., & Mosca, G. (2007). *Physics for Scientists and Engineers*. 6th Edition. W. H. Freeman.
- [6] Griffiths, D. J. (2005). *Introduction to Quantum Mechanics*. 2nd Edition. Pearson.
- [7] De onda, L., Elemento, F., Función, T. W., Umbral, F. (s/f). Función trabajo para el efecto fotoeléctrico www.vaxasoftware.com. Vaxasoftware.com. Recuperado el 28 de octubre de 2024, de https://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/we_fe.pdf