



Efecto Fotoeléctrico

Raygoza Serment José Miguel, Alcérreca Pavón Yamil Alexis, Gonce Maldonado Sergio Emiliano

Laboratorio de Física Contemporánea I,
Facultad de Ciencias, 2019-1
Universidad Nacional Autónoma de México

(4 de Octubre de 2018)

En este experimento se verificó experimentalmente el efecto fotoeléctrico, en el cual se puede producir corriente emitiendo luz. Se ocupó una lámpara de Mercurio (Hg) y tomando 5 longitudes de onda del espectro electromagnético de éste, los cuales fueron Verde, Amarillo, Azul, Violeta y Ultravioleta. Se midió la corriente en un rango de voltajes por cada longitud de onda, después se midió el voltaje de frenado, que es el valor para el cual no hay corriente y partiendo de este se tomaron otros 3 voltajes negativos para obtener una gráfica V vs I para las 5 longitudes de onda distintas. Se obtuvieron $h = (1.55118 \pm 0.1106) \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$ y $\phi = 0.302257 \pm 0.06942 \text{ eV}$ para la constante de Planck y la función de trabajo respectivamente.

Como buen físico, es mejor referirse a las longitudes en nanómetros y no colores.

Ya que los colores son subjetivos y no son incluyen-tes. Piensa en los daltónicos.

Objetivos:

No está mal, pero no hay que ser tan específico en el abstract.

1. Verificar experimentalmente la Teoría de Einstein sobre el efecto fotoeléctrico para 5 longitudes de onda.
2. Medir la corriente debida al efecto fotoeléctrico al aplicar voltajes cada 0.25 V en un rango de 0 hasta 2 Volts. Para 5 longitudes de onda diferentes
3. Medir la corriente de frenado, es decir el voltaje negativo $-V$ tal que la corriente es 0
4. Graficar V vs I para cada longitud de onda λ
5. Calcular el valor de la constante de Planck h utilizando el voltaje de frenado y la función de trabajo.

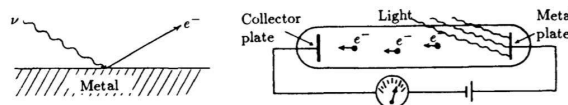
1. INTRODUCCIÓN

La expulsión de electrones de una superficie metálica por luz se le conoce como **efecto fotoeléctrico**. Un experimento por Philipp Lenard mostró que la energía que se desprende de los electrones está dada por la frecuencia de la luz irradiante (Fig 1). [1]

En los meses de 1905-1906, cuando Einstein formuló no solo su teoría de capacidades térmicas sino también su teoría de relatividad especial, encontró tiempo para hacer otra contribución a la física moderna [2].

Influenciado por los trabajos de Lienard, puso en duda la teoría clásica de la luz y varios años antes Milikan propuso que la energía luminosa está cuantificada en paquetes luminosos a los que hoy llamamos fotones. El argumento de Einstein se apoyaba en que los experimentos de interferencia y difracción de la luz, sobre los cuales se basa la teoría ondulatoria, se efectúan en situaciones donde el número de fotones es muy grande [3]. Einstein vio el efecto fotoeléctrico como la consecuencia de la colisión entre la partícula incidente, un fotón de energía $h\nu$ y un electrón enterrado en el metal. Este esquema cuenta por el efecto instantáneo del efecto, porque incluso un solo fotón puede participar en la colisión. También se toma en cuenta el umbral de frecuencias, debido a que la energía mínima (denotada normalmente Φ y llamada la *función de trabajo* para el metal, el análogo a la energía de ionización de un átomo) debe suministrarse en la colisión antes de que la fotoejección pueda ocurrir, entonces solo la radiación $h\nu > \Phi$ sea exitosa.

Fig. 1. Medición del efecto fotoeléctrico: La luz alumbra el metal (\rightarrow) y libera electrones (e^-). Imagen tomada de [1]



[2].

La luz monocromática produce electrones de energía definida. Un incremento en la intensidad luminosa lleva a la emisión de más electrones, pero no cambia su energía. Esto es una contradicción a la teoría clásica ondulatoria, donde la energía de una onda está dada por su intensidad. Si llevamos el experimento con luz monocromática a diferencias de frecuencias, una dependencia lineal entre la energía y la frecuencia es obtenida como se muestra en la Figura 2.

$$E(\omega) \propto (a + b\omega) \quad (1)$$

Este factor de proporcionalidad, i.e, la pendiente de la recta, se encuentra que es la constante de Planck \hbar , de manera que.

$$E(\omega) = \hbar(\omega - \omega_0) = h(\nu - \nu_0) \quad (2)$$

Fig. 2. Incremento lineal de la energía del fotoelectrón con frecuencia ω de la luz incidente. Imagen tomada de [1]

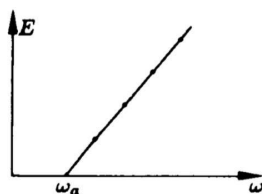
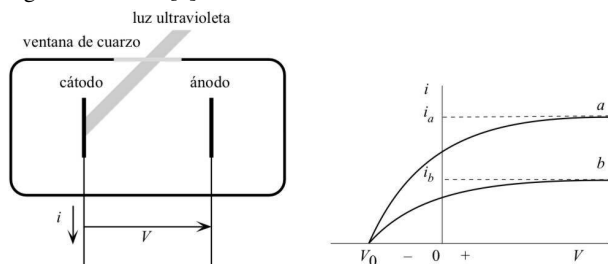


Fig. 3. Experimento para estudiar el efecto Fotoeléctrico del lazo izquierdo. El dispositivo está bajo vacío. El Voltaje entre los electrodos se puede variar continuamente y se mide la corriente I . Del lado derecho se muestra la gráfica de voltaje V contra corriente I , donde i_b es la curva obtenida para la luz con intensidad igual a la mitad i_a . Imagen tomada de [2]



con $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ W s}^2$, $\hbar = h/2\pi$ y $\nu = 2\pi\omega$

En estos experimentos, la frecuencia límite ω_0 aparece y depende del tipo de metal. [1]

En la Figura 3 se muestra la corriente fotoeléctrica como la función de la diferencia de potencial entre el cátodo y el ánodo. Se observa que para V suficientemente grande, la corriente I alcanza un valor límite, o de saturación, para el cual todos los electrones emitidos por el cátodo son colectados por el ánodo. La corriente de saturación es proporcional a la intensidad del haz de luz que incide sobre el cátodo. Sin embargo, llega un momento en el que ya todos los electrones despedidos cruzan, y como todos los electrones posibles están cruzando la corriente (carga total por unidad de tiempo) ya no incrementa. Si V se hace negativo, la corriente no cae de inmediato a 0, lo que sugiere que los electrones son emitidos con cierta energía cinética, de modo que algunos alcanzan el otro electrodo a pesar que el campo eléctrico se opone a su movimiento. Sin embargo para cierto valor negativo V_0 , llamado *potencial de frenado*, la corriente fotoeléctrica se anula. La energía cinética máxima de los fotoelectrones es: [2]

$$K_{max} = eV_0 \quad (3)$$

y es independiente de la intensidad de la luz. De acuerdo a Einstein, esta energía cinética máxima es también:

$$K_{max} = h\nu - h\nu_0 \quad (4)$$

Puede verse que la intensidad de la luz es proporcional al número de fotones que llegan a la superficie por unidad de tiempo por unidad de área, por lo tanto la corriente fotoeléctrica es proporcional a la intensidad y solo depende de la frecuencia de radiación. Además de que la frecuencia de corte también es consecuencia de (4), en efecto para cada metal, la frecuencia de corte es:

$$\Phi = h\nu_0 \quad (5)$$

Tal que para esa frecuencia no hay energía cinética $K = 0$. En pocas palabras, un fotón con la frecuencia de corte ν_0 tiene la energía suficiente para extraer un fotoelectrón. Si $\nu < \nu_0$ los fotones no tienen energía suficiente para extraer un fotoelectrón y no hay efecto fotoeléctrico. Si se sustituye las ecuaciones (3) y (5) en (4) se encuentra que

$$V_0(\nu) = \frac{1}{e} (h\nu - \Phi) \quad (6)$$

Por lo tanto la Teoría de Einstein predice que el potencial de frenado V_0 es una función lineal de ν y permite determinar h como [2]

$$h = \frac{eV_0 + \Phi}{\nu} \quad (7)$$

Este valor, es la constante de Planck dada por:

$$h = 4.135667662(25) \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} \quad (8)$$

donde (25) indica que fue medido con 25 cifras significativas.

El objetivo del trabajo y el cómo se describe en un párrafo justo aquí. Para hacer el puente entre la intro (que está muy bien) y el desarrollo.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Materiales

- Lámpara de Mercurio (Hg)
- Monocromador
- 1 Rejilla de 0.5 cm y otra rejilla de 0.125 cm
- Fotocelda
- Electrómetro
- Fuente de voltaje
- Multímetro modelo MUL-500
- Cables UHF y BNC

2. Montaje experimental

El montaje utilizado en los experimentos realizados se muestra en la Figura 4. Del lado izquierdo está la Lámpara de Mercurio cuya función fue ser la fuente emisora de luz y partiendo de su espectro electromagnético obtener 5 longitudes de onda para realizar el experimento sobre el efecto fotoeléctrico, estas longitudes de onda trabajadas fueron. Verde (546.1nm), Amarillo (577.0nm), Azul (496.1nm), Violeta (433.9), Ultravioleta (404.7nm). Las longitudes de onda fueron sacadas del manual del efecto fotoeléctrico.

A la derecha se encuentra el monocromador, que filtra las longitudes de onda emitidas por el Mercurio, las cuales entran por su orificio orientado a la izquierda en la Figura 4 mediante un sistema de espejos y prismas en su interior para que solamente salga una longitud del orificio derecho (Fig 4.), las rejillas colocadas en los orificios del mismo anchas el rango donde este capta la luz, mejorando el filtrado y la intensidad de la luz. El monocromador cuenta con un medidor en la longitud de onda, y conociendo los valores dados por la Teoría se podía obtener la longitud de onda deseada, sin embargo debido al paso de tiempo el aparato se ha descalibrado entonces, retirando las rejillas y colocando un papel pegado al orificio derecho y ajustando el medidor, se observó a ojo donde la intensidad de la luz era mayor para realizar las mediciones. En el caso de los rayos UV, debido a que son invisibles al ojo humano, se colocó el monocromador en la longitud de onda que le correspondía de acuerdo al manual, según el manual.

Después está la fotocelda, que en su interior consta de un metal en donde se produce el efecto fotoeléctrico, los fotones emitidos del mercurio inciden en este metal y golpean los electrones del metal, liberándonos del mismo, la diferencia de potencial que produce la fuente de voltaje la cual se encuentra a la derecha al frente de la Figura 4 desprende los electrones con cierta energía cinética hacia el electrómetro a la derecha detrás de la fuente en la imagen el cual registra la corriente, es decir cuán rápido llegaron los electrones el mismo. Cuando la energía de la fuente de voltaje es negativa, los electrones tienen menos energía cinética y el electrómetro registra menor corriente hasta que se llega a un voltaje de frenado V_0 en el cual ya no se produce corriente.

Por cada longitud de onda λ , se tomó un rango diferente así como el intervalo de mediciones debido a que para algunas longitudes se satura antes de los 2V y se obtienen los mismo resultados. Se describen los intervalos ocupados.

Para el amarillo, el intervalo que se tomó para medir voltajes fue 0 a 2V tomando datos cada 0.25mV. En el verde se saturó más entonces el intervalo fue entre 0 y 1.75mV, con datos cada 0.25mV. Para el azul, el intervalo fue entre 0 y 1.5V, con datos cada 0.25V. Esto se debe a que a partir de este valor se satura, y la corriente da la misma para voltajes más altos. En el violeta se saturaba mucho más rápido, bastó tomar entre 0 y 0.36V, se tomaron valores cada 0.060V. Por último en el UV el intervalo fue entre 0 y 1.25V, tomando valores cada 0.25mV. En los cuatro casos se midió el voltaje de frenado 5 veces y se calcularon otros 3 valores de voltaje negativos, cada uno un múltiplo de un cuarto del voltaje de frenado.. Con

el electrómetro se trabajó en una escala de 10^{-8} A. Después para todas las longitudes de onda se movió la escala del electrómetro a 10^{-11} A, cortando primero la corriente y luego moviendo la escala, para encontrar el voltaje de frenado (donde la corriente da cero), que se midió 5 veces para encontrar su promedio. Partiendo de este se midieron 4 valores posteriores, los cuales fueron $kV_f/4$, con $k = 1, 2, 3$

Fig. 4. Arreglo experimental



La incertidumbre de los aparatos fue tomada por el manual que da el fabricante. En el caso del multímetro MUL-500 ocupado corresponde a 0.8 % por la escala ocupada, el del electrómetro a 4 %, del monocromador fue $\pm 15\text{nm}$, este se calculó basándose en el amarillo el cual tenía el rango mayor donde se manifestaba, moviendo $\pm 15\text{nm}$ de su máxima intensidad, podrá parecer rudimentario pero hay que recordar que las longitudes se encontraron en base al ojo humano. Para la incertidumbre de la frecuencia, que es una medida indirecta se calculó con el método de la derivada, dando $\delta\nu = \frac{c}{\lambda^2} \delta\lambda$. Para la incertidumbre del voltaje de frenado se tomó en cuenta la debida al multímetro como la de la desviación estándar.

Bien!!

3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se muestra en las Tablas I-V. Estas muestran los voltajes V aplicadas a la fotocelda como variable controlada, y la corriente $I(V)$ obtenidas por cada valor. Cada tabla muestra el experimento para una longitud de onda fijada, como ya se mencionó anteriormente la incertidumbre asociada es únicamente la de los aparatos utilizados a excepción del voltaje de frenado donde se suma la incertidumbre de la desviación estándar debida a la medición del valor 5 veces, este valor corresponde al primero en cada tabla y es cuando $I = 0$.

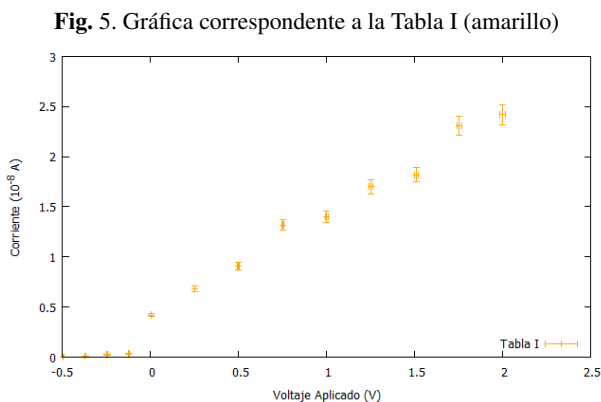
Repetimos que la incertidumbre de los aparatos es la siguiente:

- MUL-500: 0.8 % para el voltaje en V.
- Electrómetro: 2 % para la corriente en 10^{-11} A.

■ Monocromador: $\pm 15 \text{ nm}$

$V_a \text{ (V)}$	$I \text{ (} 10^{-11} \text{ A)}$
-0.495 ± 0.0044	0 ± 0
-0.371 ± 0.0030	10 ± 0.4
-0.247 ± 0.0020	23 ± 0.92
-0.124 ± 0.0010	33 ± 1.32
$V_a \text{ (V)}$	$I \text{ (} 10^{-8} \text{ A)}$
0.003 ± 0.0000	0.42 ± 0.017
0.251 ± 0.0020	0.68 ± 0.027
0.499 ± 0.0040	0.91 ± 0.036
0.752 ± 0.0060	1.32 ± 0.053
1.000 ± 0.0080	1.4 ± 0.056
1.253 ± 0.0100	1.7 ± 0.068
1.509 ± 0.0121	1.82 ± 0.073
1.753 ± 0.0140	2.31 ± 0.092
2.000 ± 0.0160	2.42 ± 0.097

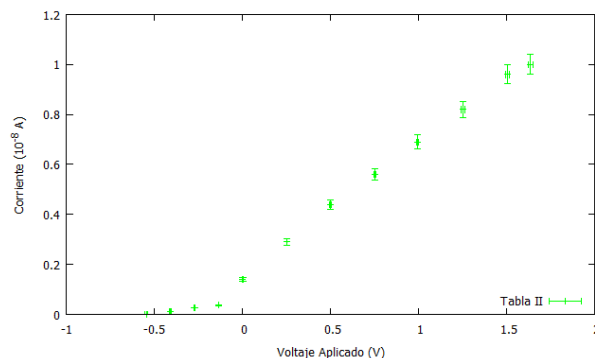
Tabla I. $\lambda_1 = 577.0 \pm 15 \text{ nm}$, $\nu_1 = (5.1957 \pm 0.135) \times 10^{14} \text{ Hz}$ (amarillo)



$V_a \text{ (V)}$	$I \text{ (} 10^{-11} \text{ A)}$
-0.546 ± 0.0073	0 ± 0
-0.410 ± 0.0033	11 ± 0.44
-0.273 ± 0.0022	27 ± 1.08
-0.137 ± 0.0011	37 ± 1.48
$V_a \text{ (V)}$	$I \text{ (} 10^{-8} \text{ A)}$
0.001 ± 0.0000	0.14 ± 0.006
0.252 ± 0.0020	0.29 ± 0.012
0.499 ± 0.0040	0.44 ± 0.018
0.753 ± 0.0060	0.56 ± 0.022
0.994 ± 0.0079	0.69 ± 0.028
1.251 ± 0.0100	0.82 ± 0.033
1.506 ± 0.0120	0.96 ± 0.038
1.635 ± 0.0132	1.00 ± 0.04

Tabla II. $\lambda_2 = 546.1 \pm 15 \text{ nm}$, $\nu_2 = (5.4897 \pm 0.151) \times 10^{14} \text{ Hz}$ (verde)

Fig. 6. Gráfica correspondiente a la Tabla II (verde)



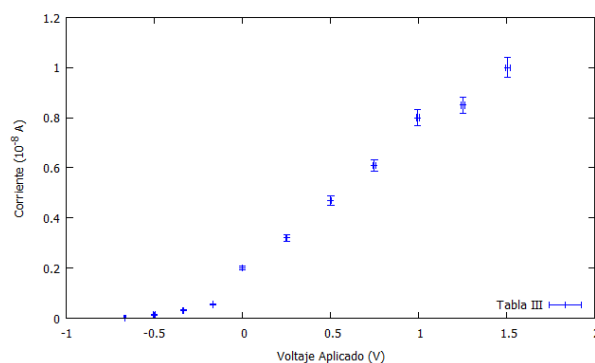
Hay que tener cuidado con las cifras, significativas.

$V_a \text{ (V)}$	$I \text{ (} 10^{-11} \text{ A)}$
-0.671 ± 0.0058	0 ± 0
-0.503 ± 0.0040	13 ± 0.52
-0.336 ± 0.0027	31 ± 1.24
-0.168 ± 0.0013	55 ± 2.2
$V_a \text{ (V)}$	$I \text{ (} 10^{-8} \text{ A)}$
0.000 ± 0.0000	0.20 ± 0.008
0.250 ± 0.0020	0.32 ± 0.013
0.501 ± 0.0040	0.47 ± 0.019
0.749 ± 0.0060	0.61 ± 0.024
0.995 ± 0.0080	0.80 ± 0.032
1.251 ± 0.0100	0.85 ± 0.034
1.507 ± 0.0121	1.00 ± 0.04

Tabla III. $\lambda_3 = 491.6 \pm 15 \text{ nm}$, $\nu_3 = (6.0983 \pm 0.186) \times 10^{14} \text{ Hz}$ (azul)

Normalmente las figuras tienen pie y las tablas encabezado. Aquí las pusiste al revés.

Fig. 7. Gráfica correspondiente a la Tabla III (azul)

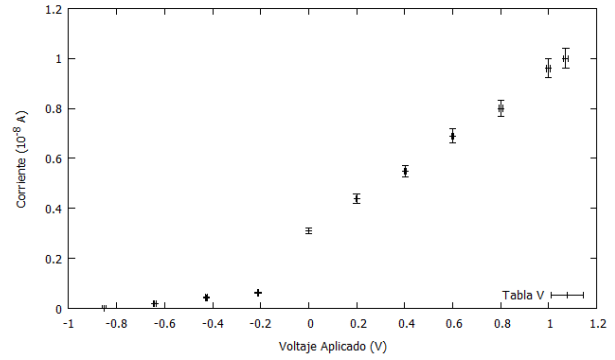


Si ya vas a poner figuras y tablas, tienes que ser muy explícito en los pies y encabezados.

V_a (V)	I (10^{-11} A)
-0.749 ± 0.0075	0 ± 0
-0.560 ± 0.0045	17 ± 0.68
-0.372 ± 0.0030	36 ± 1.44
-0.185 ± 0.0015	56 ± 2.24
V_a (V)	I (10^{-8} A)
0.000 ± 0.0000	0.67 ± 0.027
0.062 ± 0.0005	0.71 ± 0.028
0.122 ± 0.0010	0.77 ± 0.031
0.180 ± 0.0014	0.82 ± 0.033
0.241 ± 0.0019	0.89 ± 0.036
0.299 ± 0.0024	0.95 ± 0.038
0.350 ± 0.0028	1.00 ± 0.04

Tabla IV. $\lambda_4 = 433.9 \pm 15$ nm, $\nu_4 = (6.9093 \pm 0.239) \times 10^{14}$ Hz (violeta)

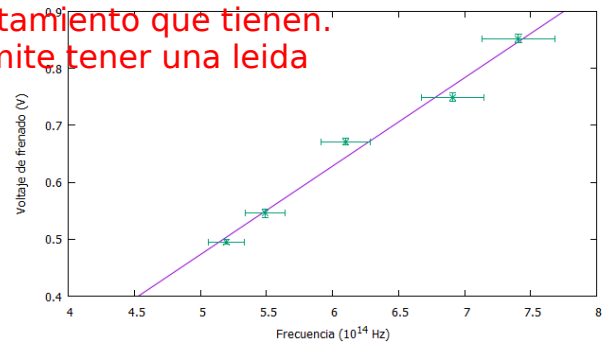
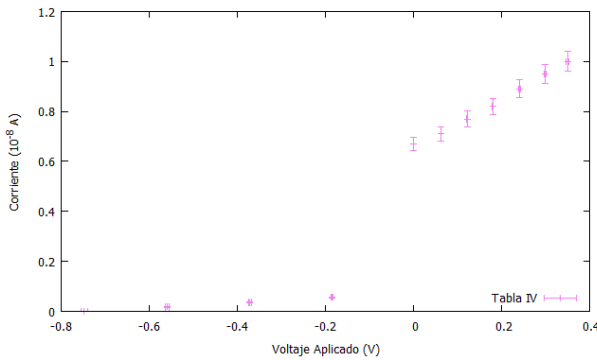
Fig. 9. Gráfica correspondiente a la Tabla V (Ultravioleta)



Si vas a poner todas las gráficas y todas las tablas. Que, por cierto, podías sólo poner las gráficas, y todas en una sólo. Tienes que hablar más sobre ellas. Por ejemplo, el distinto comportamiento que tienen. Lo pones en la discusión, pero ponerlo aquí permite tener una leída más fluida, no está mal hablar medio de eso y luego discutirlo bien.

Aquí ni siquiera escribiste y es la más importante.

Fig. 8. Gráfica correspondiente a la Tabla IV (Violeta)



A partir de la pendiente de la recta del ajuste lineal en la Figura 10, se obtuvo el valor de $\frac{h}{e}$, multiplicando por la carga del electrón que es $1eV$ se obtuvo el valor de h , al igual a la ordenada al origen que corresponde a $-\Phi$. Los valores obtenidos fueron: $h = (1.55118 \pm 0.1106) \times 10^{-15}$ eV · s con incertidumbre de 7.131 % y $\phi = 0.302257 \pm 0.06942$ eV con incertidumbre 22.97 %. El valor real está dado en (8), No podemos decir una Φ teórica debido a que no se conocía el metal dentro de la fotocelda.

recta a los datos V_f con una incertidumbre de 7.131 % y 22.97 % a la pendiente y la ordenada al origen respectivamente, el valor real de la constante de Planck $h = 4.13566766 \times 10^{-15}$ eV · s no se encuentra cercano al obtenido experimentalmente según el intervalo de incertidumbre del ajuste lineal, esto se atribuye principalmente a la calibración y antigüedad de los aparatos utilizados, a pesar de esto, el valor de h es del mismo orden de magnitud.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para cada una de las longitudes de onda se obtuvo una gráfica creciente como se observa que la Corriente crece como función del voltaje aplicado a la fotocelda, esta gráfica también tiene límite como puede observarse en éstas, este límite se debe a que la corriente se satura. Entonces el experimento realizado coincide con la Teoría de Einstein del

V_a (V)	I (10^{-11} A)
-0.852 ± 0.0074	0 ± 0
-0.641 ± 0.0051	20 ± 0.8
-0.426 ± 0.0034	43 ± 1.72
-0.211 ± 0.0017	62 ± 2.48
V_a (V)	I (10^{-8} A)
0.000 ± 0.0000	0.31 ± 0.012
0.200 ± 0.0016	0.44 ± 0.018
0.403 ± 0.0032	0.55 ± 0.022
0.601 ± 0.0048	0.69 ± 0.028
0.802 ± 0.0064	0.80 ± 0.032
1.000 ± 0.0080	0.96 ± 0.038
1.072 ± 0.0086	1.00 ± 0.04

Tabla V. $\lambda_5 = 404.7 \pm 15$ nm, $\nu_5 = (7.4078 \pm 0.275) \times 10^{14}$ Hz (UV)

Se mandan al anexo.

Y si ya separaste resultados y su discusión y análisis, esta última gráfica y todo lo demás, vendría siendo parte de eso. O sea, sólo está mal acomodado.

efecto fotoeléctrico. Además nótese, ya sea de las Tablas I-V o de las Figuras 4-9, que la curva cambia de acuerdo a la longitud de onda λ que se ocupe y depende de esta cuán rápido se satura la corriente. Se encontró que depende de la intensidad luminosa y la longitud de onda, que en este caso la amarilla fue la que se observó con más intensidad y las que se observaron con menos fueron verde y azul, por ejemplo, el verde que tiene la menor longitud de onda es la que crece más lento y al no ser muy intensa no sobresale del resto, el amarillo en cambio tuvo una intensidad muy alta y es por eso que creció más la curva, caso contrario le ocurrió al azul cuya intensidad fue muy tenue y por eso su corriente de saturación fue menor. En las Tablas II-V puede notarse que la corriente se saturó antes de los 2V, al medir después de ese valor sale siempre la misma corriente, en cambio para el amarillo, que le corresponde la Tabla I la corriente se satura mucho más lento, aunque salvo algunos valores se ve como los valores son más cercanos entre sí al aumentar a 2V. La explicación de porque aparece la corriente de saturación es la siguiente: Esto se debe a que solo hay una cantidad limitada de electrones posibles, entonces cada fotón puede únicamente un número limitado de ellos en el metal. Cierta cantidad de electrones no alcanzan una velocidad suficientemente alta para ingresar al sistema de cables, al incrementar el voltaje, estos adquieren mayor energía cinética, y ya pueden cruzar. La razón de que las gráficas no fueran crecientes de forma uniforme se piensa que es por errores humanos al medir los valores así como defectos en los aparatos.

Proseguimos a analizar la Figura 10, aquí vemos que el voltaje de frenado aumenta con la frecuencia como se predecía en la teoría de Einstein de forma lineal, aunque no los datos no se ajustan del todo bien a esta debido a los problemas técnicos con los apratos, la incertidumbre de tanto la ordenada como la pendiente dan información sobre el ajuste de los datos que se obtuvieron, sin tomar en cuenta la incertidumbre que se debe a los puntos, los puntos son los que determinan la recta que mejor se ajusta a estos y la incertidumbre dirá que tan bueno es este ajuste. Esta incertidumbre en este caso es principalmente debida a la asociada con el electrómetro y el monocromador, y dicen que los puntos reales están en otro valor dentro de ese intervalo.

Debido a que no se conocía el metal en su interior así como su calidad y que no esté aleado o contaminado, entonces no quedó de otra más que asumir que el electrómetro ocupado se encontraba calibrado, entonces su incertidumbre asignada debe ser mayor a la asignada sin embargo no se tenía forma de hacerlo. También la incertidumbre del monocromador es mayor a la considerada, eso provoca que los resultados reportados no encajen con la teoría según la incertidumbre, pero aumentar la incertidumbre es aumentar la imprecisión del experimento.

Por último el valor que se obtuvo para h difiere significativamente al reportado en la teoría el cual está dado por (8), a excepción de su orden de magnitud que es la misma. Sin embargo este valor se encuentra dentro de la incertidumbre previamente calculada, este error se debe a una falla en la calibración y la calidad de los materiales ocupados, todo eso se refleja en la incertidumbre. Respecto a la función de trabajo obtenida Φ , no coincide con ningún metal (4), ya que es mucho más pequeña que estas, ni siquiera con su incertidumbre reportada ajusta bien a algún valor, nuevamente esto se debe a la calidad del metal utilizado por lo cual no fue posible saber de cual metal se componía la celda. Para mejorar los resultados del experimento se sugiere cambiar el material utilizado, reemplazando por ejemplo el monocromador por láseres de diferente longitud de onda y ajustar la calibración del electrómetro.

El análisis y lo que comentas está bastante bien!!

5. CONCLUSIONES

A pesar de que el resultado obtenido experimentalmente no coincide con el teórico, este es satisfactorio debido a que el orden de magnitud salió igual. Esta alteración se debe a que el aparato al estar descalibrado y viejo ya no arroja resultados experimentales y se tuvo dificultades ahí. Sin embargo los resultados junto con la incertidumbre calculada para cada valor caen dentro de la recta buscada. Además no se supo cual metal contenía la fotocelda y de la teoría se sabe que la función de trabajo es diferente para cada metal

Pudiste decir más aquí, pero fue una buena discusión.

REFERENCIAS

- [1] Greiner, *Quantum Mechanics An introduction*, Cuarta Edición, Ed. Springer, 2000.
- [2] Gratton, *Introducción a la mecánica cuántica*, Primera Edición, Buenos Aires, 2003.
- [3] Atkins, Friedman *Molecular Quantum Mechanics*, Cuarta Edición, Oxford University Press, 2004.
- [4] Olmo, https://en.wikipedia.org/wiki/Work_function Consultado el 2 de Octubre de 2018