

-24-

DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DE PLANCK

OBJETIVO

- Determinar la constante de Planck, h , a partir del efecto fotoeléctrico.

MATERIAL

- Lámpara de mercurio.
- Fococélula de potasio.
- Monocromador de prisma.
- Electrómetro con amplificador.
- Voltímetro.

NOTA 1: las conexiones eléctricas de este experimento ya están realizadas, pero no deben encender las fuentes de alimentación del equipo sin la supervisión del tutor responsable de la práctica. Asimismo, el ajuste óptico del monocromador está prefijado y no debe alterarse.

FUNDAMENTO

El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por la superficie de un metal cuando luz de energía suficientemente elevada incide sobre ella.

La distribución de la energía cinética de los electrones cubre un margen continuo desde 0 hasta una energía máxima. Experimentalmente se demostró que la energía máxima de los electrones arrancados (fotoelectrones) depende de la frecuencia ν de la radiación incidente según la expresión:

$$T_{\max} = Cte (\nu - \nu_0) \quad (1)$$

siendo ν_0 la frecuencia de la luz por debajo de la cual no se arranca ningún electrón y es característica del material. Se observó además que la distribución de energía de estos electrones no dependía de la intensidad de la luz incidente, es decir, luz muy intensa daba lugar a más fotoelectrones pero el valor medio de la energía de la distribución y su energía máxima es la misma para una determinada frecuencia.

Este hecho, el efecto fotoeléctrico, se explicó dentro de la teoría cuántica de la radiación de Planck, aplicada a este caso por Einstein en 1905. Según ésta, la Cte. que aparece en la ecuación anterior es la constante de Planck, h , y se tiene que:

$$h\nu = T_{\max} + h\nu_0 \quad (2)$$

En la nueva hipótesis, el primer miembro representa la energía del cuanto de luz incidente, fotón, y $h\nu_0$ es la energía mínima del fotón necesaria para desalojar un

electrón de la superficie (relacionada con la función de trabajo, dependiente del material, energía que liga a los electrones a la superficie).

Un experimento de este tipo se puede realizar colocando dos electrodos en un tubo en el que se ha hecho el vacío (Figura 1). Uno de los electrodos está formado por el material fotoeléctrico, que va a ser la superficie que será irradiada por la luz y que emitirá electrones (cátodo). El otro electrodo (ánodo) es otro material metálico. Aunque no se aplique una diferencia de potencial que atraiga electrones al ánodo, se observa en el amperímetro una corriente debida a los fotoelectrones que tengan energía suficiente para llegar a este electrodo. Para determinar esta energía máxima se aplica una diferencia de potencial inversa a los electrodos (cátodo positivo y ánodo negativo). De esta forma, a medida que aumentamos la diferencia de potencial, llegan menos electrones al ánodo hasta que se alcanza un determinado potencial para el que no existe corriente circulando por el amperímetro. Este es el potencial de frenado (V_f), que podemos medir con un voltímetro. En estas condiciones se verifica:

$$e V_f = T_{\max} \quad (3)$$

y la ecuación (2) se puede escribir como:

$$V_f = (h/e)v - (h/e)v_0 \quad (4)$$

Realizando medidas para distintas frecuencias de la luz incidente, podemos obtener a partir de la ecuación (4) el valor de la constante de Planck y una estimación de la función de trabajo.

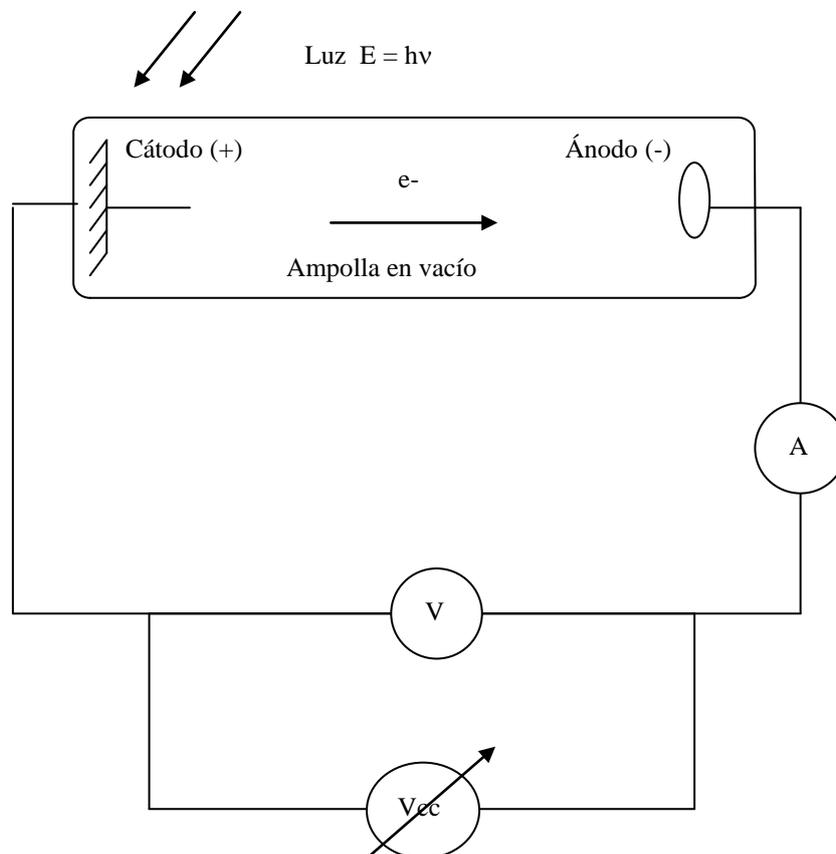


Figura 1

MÉTODO Y MODO DE OPERAR

El dispositivo experimental consta de una lámpara de mercurio acoplada a un monocromador de prisma, a la salida del cual se coloca la célula fotoeléctrica. El material que se irradia es potasio y el segundo electrodo es de platino. Todo el conjunto se visualiza levantando la tapa del monocromador. La luz procedente de la lámpara es enfocada por medio de una lente sobre el prisma. Después de atravesar el prisma, aparecen separadas las componentes (líneas espectrales) 2 violetas, azul, turquesa, verde, amarilla y roja de la luz incidente. Un espejo montado sobre un tornillo giratorio permite hacer incidir cada línea sobre la fotocélula.

En el experimento tradicional que se describió en el apartado anterior, los potenciales de frenado -que son del orden de unos pocos voltios- se determinan a partir del punto en el que se anula una intensidad de corriente muy baja (del orden de 10^{-9} A), lo cual no es nada fácil. Por ello, en esta práctica el procedimiento que se va a seguir es algo diferente. Una vez enfocada la luz sobre la fotocélula recogemos los electrones que llegan al segundo electrodo por medio de un condensador colocado entre el ánodo y el cátodo. El potencial entre sus extremos será $V = Q/C$, donde Q es la carga debida a los fotoelectrones y C la capacidad del condensador. El condensador va recogiendo carga hasta que la diferencia de potencial V coincida con el potencial de frenado. Este potencial se determina por medio de un voltímetro situado entre sus extremos. Al realizar la medida debe estar cerrada la ventana de observación de selección de longitud de onda y colocada la tapa para que no haya luz proveniente de otras fuentes que pueda afectar al resultado. Después de anotar la lectura del voltímetro, hay que descargar el condensador oprimiendo un pulsador situado en la parte superior del mismo (al estar descargado, el voltímetro marca 0 voltios). La descarga debe hacerse cerrando la entrada de luz de la lámpara.

Una vez realizada la medida del potencial de frenado con una de las líneas (por ejemplo la segunda violeta) se pasa a la siguiente (en este caso la azul) y se repite el proceso de enfoque y medida con el voltímetro. Lo mismo para el resto de las líneas.

NOTA 2: para observar el efecto fotoeléctrico no es necesario utilizar luz monocromática. Si en el experimento utilizáramos la luz de la lámpara sin pasar por el prisma, también se produciría el efecto fotoeléctrico, pero el potencial de frenado que obtendríamos sería el correspondiente a la componente de máxima energía de la luz incidente y con una única frecuencia no se puede obtener h , ya que la función de trabajo también es desconocida.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

1. Hacer una serie de medidas del potencial de frenado para cada línea del mercurio, empezando por la primera violeta y terminando en la roja y, a continuación, empezando por la roja y terminando en la violeta. Repetir otra vez la secuencia anterior. Con la serie de cinco medidas para cada línea hallar el valor medio del potencial de frenado y su incertidumbre teniendo en cuenta que es una medida directa. Por lo tanto, hay que evaluar el error sistemático del voltímetro conectado al electrómetro-amplificador y después combinarlo, mediante la fórmula de

propagación de incertidumbres vista en clase, con la incertidumbre aleatoria correspondiente.

2. Sabiendo que las longitudes de onda λ de la radiación emitida por el mercurio utilizada en este experimento son las siguientes:

Color de la línea	λ (nm)
Violeta	365,0
Violeta	404,7
Azul	435,8
Turquesa ¹	493,4
Verde	546,1
Amarillo-Anaranjado	578,0
Roja ²	614,9

hacer una tabla en la que conste, junto a estos datos, la frecuencia ν y el potencial de frenado medio y su incertidumbre obtenido en el apartado 1 (Ver NOTA 3).

3. Representen gráficamente, en papel milimetrado, el potencial de frenado en función de la frecuencia. Teniendo en cuenta la ecuación (4), determinar h y ν_0 junto con su incertidumbre por medio de una regresión lineal de los puntos de la gráfica. Consideren la incertidumbre de los valores de λ y de c , y por tanto los de ν , despreciable. Ídem con la incertidumbre del valor de la carga del electrón. Dibujar la recta de regresión obtenida sobre los puntos experimentales.
4. Representen sobre la recta los resultados obtenidos con las líneas amarilla y roja. ¿Cómo queda su valor con respecto a la recta?. Teniendo en cuenta que el potencial de frenado corresponde al de la máxima frecuencia que forma parte de la luz incidente, ¿cuál podría ser la explicación de este hecho?.

NOTA 3: la longitud de onda y la frecuencia de una radiación electromagnética están relacionadas con la velocidad de la luz, c , según la expresión $\lambda\nu = c$. Recuerden que:

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s} \quad 1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} \quad e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

¹ La línea turquesa es poco intensa y a menudo aparece confundida con la próxima verde, en caso de que resulte difícil identificarla se recomienda no incluirla en el ajuste.

² La líneas de baja energía (la amarilla-anaranjada y sobre todo la roja) presentan un problema adicional: al corresponderles un voltaje muy bajo cualquier luz residual que incida sobre la fotocélula tiende a aumentar este voltaje, hacerlo inestable y falsear el resultado. Se recomienda como en el caso anterior que en caso de presentar datos inestables o incoherentes no se incluya la línea roja en el ajuste.