

Determinación de la Constante de Planck Utilizando una Lámpara de Tungsteno

Carolina Artuso, y Alejandro Satz

caritoartdeco@yahoo.com , satz@ciudad.com.ar

Laboratorio 5, Departamento de Física, Facultad de Ciencias exactas y Naturales, Pabellón I
Universidad de Buenos aires - 2001

El objetivo de esta experiencia fue determinar el valor de la constante de Planck h utilizando una lámpara de filamento de tungsteno. Para ello, en primer lugar se tomó el espectro de emisión de dicho filamento, de forma tal de obtener la intensidad en función de la longitud de onda para diferentes temperaturas. Posteriormente se eligieron diversos valores de frecuencia y para cada uno de ellos, utilizando la ley de Planck se calculó el valor de h . Una vez obtenidos los mismos, se realizó un análisis estadístico el cual arrojó un valor promedio de $h = (6.5 \pm 0.2) \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$.

INTRODUCCIÓN

La superficie de todo cuerpo que se encuentra a una temperatura mayor que el cero absoluto, emite energía, en forma de radiación térmica, generada, en la teoría clásica, por la aceleración de las cargas eléctricas que se encuentran cerca de la superficie. Pero en una aceleración que dura un período de tiempo, la mayor parte de la radiación emitida tiene frecuencia casi igual a la inversa de este período y una longitud de onda igual a c multiplicada por el período. En los diversos procesos de aceleración que dan origen a esta radiación térmica, se emite un espectro completo de longitudes de onda. Es por ello que se esperaba que la rapidez de emisión de energía, integrada sobre todo el espectro de longitudes de onda, aumente a medida que la temperatura de la superficie aumenta debido al incremento en la agitación térmica; también sería de esperarse que la rapidez de emisión fuese proporcional al área de dicha superficie.¹

Un cuerpo que tiene la propiedad de absorber toda la radiación que incide sobre él, recibe el nombre de cuerpo negro y por ende, emite todo lo que incide (ley de Kirchoff). Así, un cuerpo negro es el absorbente y el radiador más eficiente¹

Acorde al postulado de Planck, la radiación emitida por cualquier superficie está cuantizada. Cada uno de los cuantos emitidos posee una energía $E = h\nu$, siendo ν la

frecuencia de la radiación y h , la constante de Planck.¹

La ley de Planck relaciona la intensidad de radiación emitida por un cuerpo negro que se encuentra a una temperatura T con la frecuencia. Esta relación se muestra en la ecuación (1):¹

$$I(\nu, T) = \frac{8\pi h^3 \nu^3}{c^3} (\exp(h\nu/KT) - 1)^{-1} \quad (1)$$

siendo c la velocidad de la luz, ν la frecuencia, K la constante de Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J}\cdot\text{K}$) y h la constante de Planck.

Conociendo esta relación podemos comparar la intensidad de un cuerpo negro que se encuentre a una temperatura T_1 con la correspondiente a una temperatura T_2 para la misma para la misma frecuencia. Esto es:

$$\frac{I_1(T_1)}{I_2(T_2)} = \frac{\exp(h\nu/KT_2) - 1}{\exp(h\nu/KT_1) - 1} \quad (2)$$

Si se cumple que $h\nu \gg KT$ entonces $\exp(h\nu/KT) \gg 1$. De esta forma la expresión anterior anterior se reduce a la ecuación (3):

$$\frac{I_1(T_1)}{I_2(T_2)} \approx \exp\left(\frac{h\nu}{K} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)\right) \quad (3)$$

En la presente experiencia, se determinó la constante de Planck, a partir de la radiación emitida por el filamento de tungsteno de una lámpara, el cual se supuso ser un cuerpo negro.

DESSARROLLO EXPERIMENTAL

Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo de esta experiencia fue determinar la constante de Planck a partir de la radiación de cuerpo negro, utilizando la ley de Planck.

Para poder realizar este análisis debemos conocer la intensidad de radiación emitida en función de la frecuencia y de la temperatura.

Para hacer esto se colocó la lámpara de tungsteno frente a un monocromador y a su salida, un tubo fotomultiplicador conectado a su vez a una plaqueta transformadora MPLIP y ésta a la PC. De esta forma se pudo realizar un barrido en longitudes de onda, es decir, conocer la intensidad de la radiación como función de la frecuencia. El dispositivo experimental se puede observar en la figura 1.

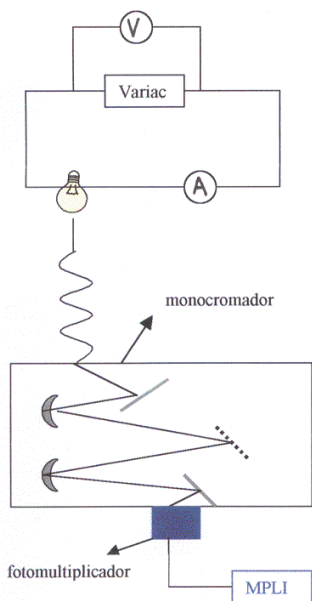


Figura 1: arreglo experimental utilizado

Para lograr variar la temperatura del filamento se lo conectó a un variac de forma tal de poder variar el voltaje aplicado al mismo, midiendo simultáneamente tanto la corriente que circulara como así también la caída de potencial. De esta forma se puede obtener su resistencia; y, si se conoce la

relación existente entre ésta y la temperatura, conseguimos la dependencia que buscamos.

En la figura 2 se muestra una curva de resistividad en función de la temperatura y el ajuste correspondiente. Ésta fue construida a partir de los datos tabulados en (2).

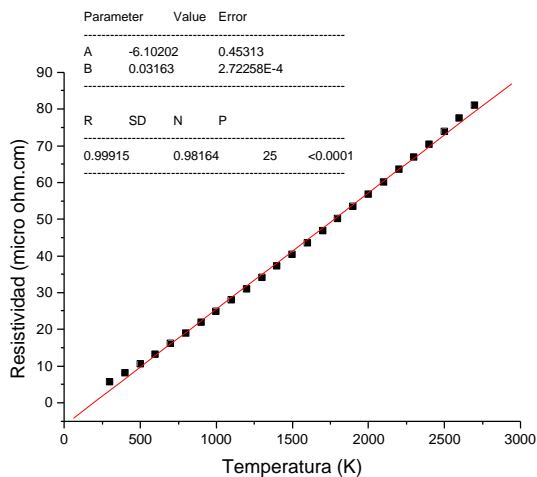


Figura 2: relación entre la resistividad y la temperatura

Es importante recordar que la resistencia y la resistividad se relacionan de la forma que se puede observar en la ecuación (4):

$$R = \rho \cdot L/A \quad (4)$$

siendo A el área de la sección y L su longitud.

Para conocer el cociente A/L, se procedió a medir la resistencia del filamento a temperatura ambiente, es decir cuando éste no se encontraba conectado a ninguna fuente. Una vez obtenido el valor de R, se buscó en la curva anterior el valor de resistividad correspondiente, y de allí se despejó el cociente buscado. Conociendo el factor A/L, basta medir la resistencia para automáticamente obtener la temperatura.

Con el fin de obtener la resistencia del filamento, éste fue alimentado con un variac de forma tal de poder variar el voltaje aplicado. A su vez se conectó un voltímetro y un amperímetro, lo cual nos permitió conocer la caída de tensión y la corriente circulante por el filamento y por ende su resistencia.

La experiencia consistió en realizar un barrido en longitudes de onda para 14 diferentes temperaturas. Posteriormente se eligieron algunas de las frecuencias y para cada una de ellas se aplicó la expresión (3), a partir de la cual se pudo obtener h. Luego se realizó un análisis estadístico de los resultados obtenidos.

Es importante aclarar que el tubo fotomultiplicador utilizado tiene una curva de respuesta no lineal, es decir la forma en que convierte la radiación incidente en voltaje, depende de la longitud de onda de dicha radiación. El rango en cual trabaja este dispositivo es entre los 200 nm y los 700 nm, razón por la cual no se pudo levantar el espectro completo. Por otro lado se puede dejar de lado la forma en que el fotomultiplicador responde, ya que al realizar el cociente indicado en la ecuación (3), como la longitud de onda es la misma, el término correspondiente a la respuesta se cancela.

RESULTADOS

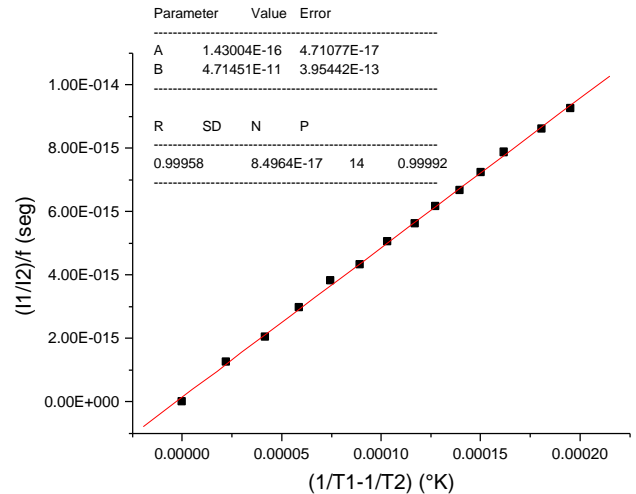
Como se ha mencionado en las secciones anteriores, el objetivo de esta experiencia fue determinar la constante de Planck. Para ello a partir de la ecuación (3), se obtiene que:

$$\ln(I_1/I_2) = \frac{h}{K} (1/T_2 - 1/T_1) \quad (4)$$

Se puede ver que si se grafica la parte izquierda de la última expresión para I_2 fija contra la diferencia de la inversa de las temperaturas se debería obtener una recta de pendiente h/K .

Se realizaron las mencionadas gráficas para 50 diferentes espaciadas en 5 nm y comprendidas entre los 350 nm y los 600 nm y las temperaturas tomadas fueron 14 comprendidas entre los 1700 K y los 2700K. A continuación se muestra el correspondiente a $\lambda = 5.35 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

A partir del ajuste lineal obtenido y sabiendo Figura 3: ajuste de los datos según la ec.(4) para una frecuencia de $5.35 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$



que $K = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J}^\circ\text{K}$, se tiene un valor de la constante de Planck $h = (6.5 \pm 0.3) \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{seg}$. Realizando este procedimiento para 50 frecuencias diferentes, se puede realizar un análisis estadístico de los resultados. Para ello se construyó un histograma el cual se puede observar en la figura 4:

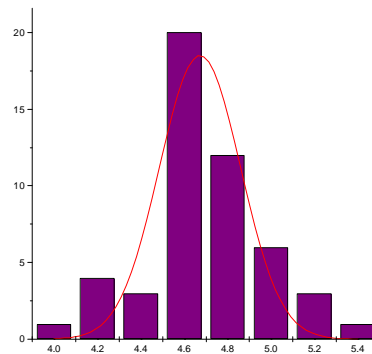


Figura 4: histograma construido para los valores obtenidos de h/K

A partir del histograma presentado anteriormente, se obtiene un valor de h/k promedio y su error, el mismo resultó ser de $\lambda h/K = (4.7 \pm 0.1) \cdot 10^{-11} \text{ seg}/^\circ\text{K}$. Con este resultado y conociendo el valor de la constante de Boltzman, se obtiene un valor promedio para la constante de Planck, el cual fue de $\lambda h = (6.5 \pm 0.2) \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{seg}$. Se puede observar que el valor obtenido para dicha constante junto al intervalo de incerteza correspondiente incluye al valor tabulado que es $h = 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{seg}$. Se puede concluir que el

método utilizado en esta experiencia para la determinación de h resultó bastante preciso, con un error del 4 %.

Si se comparan los resultados obtenidos aquí con los correspondientes a (3), se ve que la presente experiencia es más precisa y el valor obtenido para h coincide con el tabulado. Por otro lado, resultó ser este método más sencillo que el mencionado anteriormente como así también permite tomar más puntos para la determinación de h y poder realizar un análisis estadístico.

Por otro lado es interesante recalcar que la distribución mostrada en la figura 4 para los valores obtenidos de h/K no fue muy aleatoria. Se pudo observar una tendencia a aumentar este cociente conforme lo hacía la longitud de onda. Al intentar explicar este fenómeno, se pensó en primer lugar en una falla debida a la forma en que responde el tubo fotomultiplicador. Es decir, si al tomar la intensidad correspondiente a 2 temperaturas diferentes no tomábamos exactamente el mismo punto en longitud de onda, la respuesta en caso sería diferente a la del otro, y por ende al realizar el cociente de intensidades el factor correspondiente a dicha respuesta no se cancelaría. Por otro lado, observando la curva de respuesta, se ve que la zona en que mejor responde el fotomultiplicador es entre los 400 nm y los 550 nm, zona en la cual se obtuvieron los puntos de h/K que caen debajo del pico a altura mitad. Pero, al fijar una longitud de onda y tomar las 14 intensidades correspondientes, h/K fluctuaba en a lo sumo 0.2 nm, diferencia que, al observar la curva de respuesta, la misma no cambia sustancialmente. Esto nos llevó a concluir que el problema no era ese y no pudimos encontrar explicación alguna para este fenómeno.

CONCLUSIONES

Esta experiencia tuvo por objeto la determinación de la constante de Planck utilizando una lámpara de tungsteno.

Para ello se realizó un barrido en longitudes de onda de forma tal de obtener la intensidad en función de la misma. El filamento fue

alimentado por un variac de forma tal de variar el voltaje aplicado y por ende su resistencia. Luego, conociendo la relación que guardan la resistencia y la temperatura se realizó el mismo barrido para diferentes resistencias, es decir para diferentes temperaturas. Una vez hecho esto se aplicó la ecuación (4) que se deriva de la ley de Planck para una frecuencia fija y para cada una de las 14 temperaturas. Se tomaron 50 frecuencias diferentes, obteniendo para cada una de ellas un valor de h/K . Con estos resultados se realizó un análisis estadístico de los datos, obteniendo un valor medio de $h/K = (4.7 \pm 0.1) \cdot 10^{-11} \text{ seg}^\circ\text{K}$, lo cual implica un valor de $h = (6.5 \pm 0.2) \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$. El intervalo de incertezas obtenido incluye el valor tabulado de h que es $6.6 \cdot 10^{-34} \text{ Jseg}$.

Si se compara este método con el utilizado en (3), se ve que el descripto aquí resulta ser más preciso, más sencillo, nos permite tomar más puntos y realizar un análisis estadístico. Por otro lado el valor obtenido aquí coincide con el tabulado, hecho que no sucedió en la otra experiencia.

De todos modos es importante mencionar que la distribución de los valores correspondientes al cociente h/K no fue exactamente aleatoria. Se observó una tendencia a aumentar dicho valor conforme lo hacía la longitud de onda, hecho que no ha podido ser explicado.

REFERENCIAS

1. R.M. Eisberg, Fundamentos de Física Moderna, Noriega Editores, México (2000)
2. R.C. Weast ed, Handbook of chemistry and physics, 56ª edición, Cleveland (1975)
3. C. Artuso y A. Satz, Determinación de la constante de Planck utilizando leds, Laboratorio 5, FCEyN, UBA www.fisicarecreativa.com