

Determinación de la Constante de Planck

LUIS F. HORTA C.

FABIAN C. PASTRANA C.

SANTIAGO RAMIREZ V.

9 de marzo de 2018

Resumen

El tema tratado en este documento es la determinación de la constante de Planck por medio de un circuito en serie de una resistencia, 6 diodos y multímetros, conectados a una fuente de corriente. Se utilizó el postulado de Planck para la cuantización de la energía y la relación de la de energía eléctrica adquirida por una carga en una diferencia de potencial, llegando a una buena aproximación en el caso del ultravioleta con un error menor al 1%, este puede ser debido al error experimental y a la falta de precisión de los equipos empleados, se concluyó que a menor longitud de onda mejor es el cálculo.

I. INTRODUCCIÓN

La primera pista que indicaba la naturaleza de la cuantización de la radiación vino del estudio de las emisiones de los cuerpos. La superficie de todo cuerpo que se encuentre a una temperatura mayor que el cero absoluto emite energía, es decir, todos los cuerpos radian energía electromagnética, la cantidad y característica de esta radiación depende de dos factores, su temperatura y la naturaleza de su superficie; así mismo como son emisores, también absorben energía. A finales del siglo XIX, se planteó el problema de cuerpo negro, es decir, un emisor y absorbedor de radiación perfecto.

A partir de esto e intentando explicarlo, Rayleigh y Jeans hicieron un análisis riguroso desde el punto de vista clásico y llegaron a

$$u(\lambda) = \frac{8\pi\sigma T}{\lambda^4} \quad (1)$$

La figura (2) muestra la comparación de la fórmula de Rayleigh-Jeans frente a la ley de Planck, claramente se ve como la ecuación (1) es bien comportada para longitudes de onda grandes, pero al acercarse al visible y al ultravioleta, no se ajusta en nada a la experiencia, así, este error fue considerado en la historia de la ciencia como "la catástrofe del ultravioleta".

Llegados a este punto en donde clásicamente no había una explicación bien comportada, en 1901 Planck postuló[1]

- Cualquier entidad física cuya única coorde-

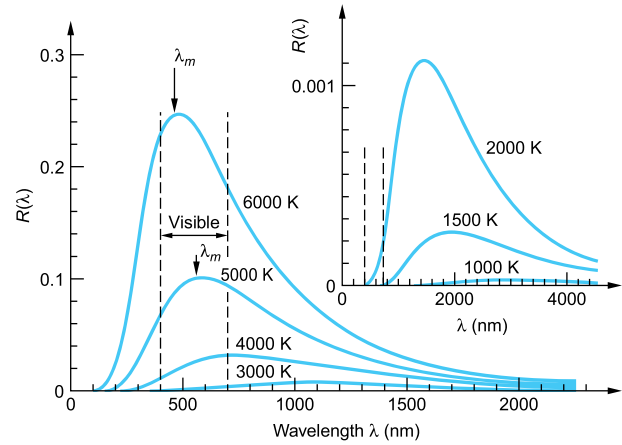


Figura 1: Función de distribución espectral $R(\lambda)$. El eje de $R(\lambda)$ está en unidades arbitrarias solamente por comparación. Notese el rango de λ en el visible.[3]

nada efectúa oscilaciones armónicas simples, solamente puede tener una energía total ϵ que satisface la relación

$$\epsilon = nh\nu \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

donde ν es la frecuencia de oscilación y h una constante universal.

Fue con esto que Planck llegó a su ley

$$u(\lambda) = \frac{8\pi hc\lambda^{-5}}{e^{\frac{hc}{\lambda\sigma T}} - 1} \quad (3)$$

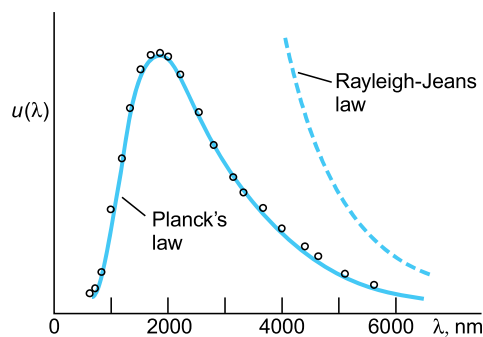


Figura 2: Comparación de la formula de Rayleigh-Jeans con la ley de Planck con datos experimentales a $T=1600^\circ\text{K}$ obtenidos por W. W. Coblentz en 1915. [3]

donde λ es la longitud de onda, σ es la constante de Stefan-Boltzman, T la temperatura y h la constante de Planck.

Es esta h , la constante que nos compete en este trabajo, encontrarla mediante mediciones del espectro de 6 leds con longitudes de onda distintas, para así acomodar la gráfica y comparar con cuál longitud de onda se ajusta más a h , cuyo valor es $h = 6,62606896 \times 10^{-34} \text{ J.s}$.

Así pues, teniendo en cuenta el voltaje de activación v_0 de los diodos y la carga del electrón e^- , se obtiene la energía eléctrica correspondiente a cada fotón $E = e^- V_0$, con esta energía, y por el postulado de Planck, se despeja la constante $h = \frac{E}{\nu}$, se espera que en el promedio de la constante hallada en cada longitud de onda se acerque considerablemente al valor esperado y poder concluir con qué longitud de onda es mejor hallarla.

II. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL Y PROCEDIMIENTO

Para determinar la constante de Planck se utilizó, un Amperímetro, un voltímetro, seis diodos led de color de referencia rojo, azul, verde, amarillo, violeta e infrarrojo, una resistencia de 220Ω , y una fuente de voltaje. Estos componentes están conectados en un circuito como el que se muestra en la figura (III).

Para determinar la constante de Planck a partir de este montaje relativamente sencillo, hacemos

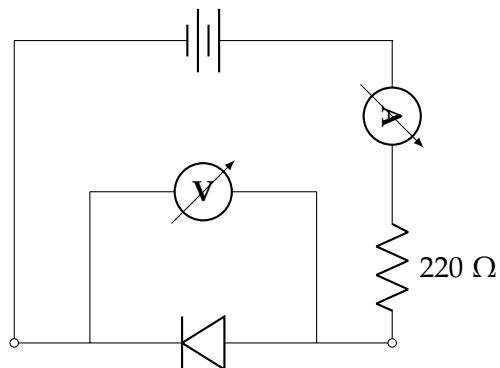


Figura 3: Esquema que representa el circuito con el cual se realiza el experimento.

uso de la ecuación (2), la cual relaciona la energía con la frecuencia mediante la constante de Planck.

El procedimiento es el siguiente, se conecta un diodo led, en serie con el amperímetro a la fuente, con ayuda de una protoboard. El voltímetro se conecta en paralelo al led. Para este experimento se tiene la ayuda de una resistencia de 220Ω , para evitar que el diodo se dañe con corrientes altas, estos dos se conectan en serie. Al culminar con el montaje experimental, se procede a la toma de datos, que se realizarán de la siguiente manera; se incrementa desde cero, por décimas determinadas según las características de cada diodo, el voltaje de la fuente observando el amperímetro. Se realiza una tabla con estos datos (voltaje vs corriente), se determina el voltaje inicial que es aquel en donde el diodo led empieza a emitir luz.

Ahora, para el desarrollo de la práctica es necesario conocer el valor de la longitud de onda de luz que emite cada led, dicho valor es proporcionado por el docente, por medio de tablas donde hay datos experimentales que miden longitud de onda vs intensidad de corriente, a estas se les realiza una aproximación Gaussiana, para determinar el valor de la longitud de onda. De los datos obtenidos de las tablas se les realiza su respectiva teoría de error.

Ya con los voltajes de cada medida y su respectiva longitud de onda, se procede a operar para calcular ya un aproximado de la constante de Planck de esta manera:

$$h = \frac{E}{\nu}$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Al graficar los voltajes y corrientes obtenidos en el procedimiento experimental, en una gráfica voltaje *vs* corriente se obtuvo lo siguiente.

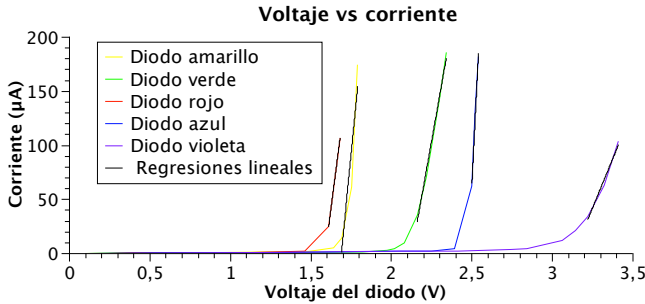


Figura 4: Grafica que muestra el voltaje presente en el diodo contra la corriente medida.

En donde a cada curva resultante se le realizo una regresión lineal para determinar con más precisión el momento en donde el diodo empieza a emitir luz.

Debido a que el led infrarrojo tiende a encenderse con voltajes menores que los demas led es necesario acomodar la escala de medida, por lo que fue util graficarlo aparte.

Se puede apreciar en todas las curvas presentes en las figuras (4) y (5), que, para determinado voltaje, la corriente comienza a crecer abruptamente. Este fenómeno se da porque, justo ese es el momento en el que el diodo se prende.

Como se puede ver en las figuras (5) y (4), a medida que la longitud de onda de la luz analizada disminuí, aumenta el voltaje presente en el diodo para que la corriente presente un cambio considerable, lo cual se da debido a que, a medida que la longitud de onda de la luz emitida por el diodo disminuí, esta es más energética, lo cual lleva a que necesite una cantidad mayor de voltaje para así lograr emitir su rayo de luz correspondiente

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para las longitudes de onda de cada color y su respectivo voltaje de activación, previamente hallado

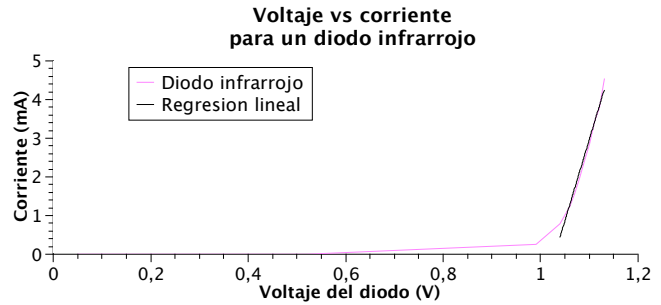


Figura 5: Grafica que muestra el voltaje presente en el diodo contra la corriente medida para el caso particular de luz infrarroja.

Color Emisor	Longitud de Onda (nm)	Voltaje de Activación (Voltios)
Infrarrojo	$938,59 \pm 25,08$	$1,03 \pm 0,09$
Rojo	$635,27 \pm 17,06$	$1,59 \pm 0,01$
Amarillo	$593,46 \pm 7,18$	$1,66 \pm 0,82$
Verde	$562,52 \pm 11,79$	$2,12 \pm 0,23$
Azul	$458,75 \pm 40,09$	$2,48 \pm 0,31$
Violeta	$402,62 \pm 20,45$	$3,05 \pm 0,66$

Tabla 1: Resultados de voltajes de activación con regresión lineal y longitudes de ondas experimentales

con una regresión lineal, acto seguido, se realiza los cálculos matemáticos previamente descritos para hallar la constante de Planck, y se halla su respectivo error absoluto, estos datos se muestran en la tabla 2.

Haciendo el promedio de las constante halladas, tenemos que

$$h = (5,81E - 34 \pm 5,40E - 35)Js$$

Es decir, un error absoluto de 12,34 %, este porcentaje frente al del diodo con longitud de ondas correspondiente al violeta, es claramente mayor, así pues se ve claramente un comportamiento de mejor precisión a medida que la longitud de onda disminuye, llegando, en este caso, a tener un error menos al 1 %, lo cual es bastante bueno frente a las

Color Emisor	Constante de Planck (Julios * Segundo)	Erros Absoluto
Infrarrojo	$5,17\text{E-}34 \pm 4,72\text{E-}35$	21,97 %
Rojo	$5,40\text{E-}34 \pm 1,49\text{E-}35$	18,50 %
Amarillo	$5,27\text{E-}34 \pm 2,60\text{E-}34$	20,47 %
Verde	$6,37\text{E-}34 \pm 7,04\text{E-}35$	3,86 %
Azul	$6,08\text{E-}34 \pm 9,27\text{E-}35$	8,24 %
Violeta	$6,56\text{E-}34 \pm 1,46\text{E-}34$	0,99 %

Tabla 2: Constante de planck con el error absoluto para su respectiva longitud de onda

condiciones del experimento.

IV. CONCLUSIONES

- Se observó que a medida que la longitud de onda disminuye, es decir, la frecuencia aumenta, el resultado de la constante de Planck tiende a ser más cercano, así pues, fue mejor el led violeta para calcular la constante.
- Se observó mientras se hacía la toma de datos experimentales que, si la escala del amperímetro se cambiaba, la corriente aumentaba inmediatamente sin necesidad de aumentarla en la fuente, así que se hizo a una sola escala de medida de corriente.

REFERENCIAS

- [1] R. Eisberg, *Fundamentos de Física Moderna*. Limusa, México D.F (1983).
- [2] R. Eisberg, *Física Cuántica*. Limusa, México D.F (1983).
- [3] Paul A. Tipler, Ralph A. Llewellyn, *MODERN PHYSICS. SIXTH EDITION*. U.S.A.: W. H. Freeman and Company.(2012)
- [4] H. SEMAT, J. R. ALBRIGHT *Introduction to Atomic and Nuclear Physics*.fifth edition.U.S.A.:Rinehart and Winston.(1985)