

# Radiación de cuerpo negro

Daiana Duarte, Agustín Núñez, Lucía Salmantón, and docente a cargo: Andrés Pazos  
*Centro Regional de Profesores del Sur.*

(Dated: 10 de gosto de 2022)

El presente artículo presenta el proceso realizado para corroborar la Ley de Planck, acerca de la radiación de un cuerpo negro y determinar el valor de la constante de Planck. Para ello se utiliza un filamento de una lámpara incandescente como cuerpo negro y un transistor 2N3055 para captar la intensidad de luz emitida que es previamente filtrada para dejar pasar luz con una única longitud de onda. Se logró comprobar la Ley de Planck con éxito y obtener un valor constante de Planck del orden del valor teórico. Esta práctica de física moderna es realmente importante porque es posible comprobar experimentalmente una predicción de la teoría moderna de forma fácil y muy económica, con materiales que se consiguen fácilmente.

## INTRODUCCIÓN

Todos los cuerpos emiten energía en forma de ondas electromagnéticas, los cuerpos a temperatura ambiente emiten bajas energías a longitudes de ondas correspondientes al infrarrojo (mayores de 760 nm) y por lo tanto a menor frecuencia. Al elevar la temperatura de un objeto éste emitirá mayor energía, provocando una disminución de las longitudes de ondas, es por ello que estos cambian de color cuando aumenta su temperatura.

Sin embargo, los cuerpos no emiten con igual intensidad a todas las frecuencias o longitudes de onda. El gran problema radica en predecir la intensidad de radiación a una longitud de onda dada emitida por un cuerpo negro resplandeciente a una temperatura determinada.

El cuerpo negro es un cuerpo ideal que absorbe toda la radiación que recibe y en consecuencia, es un radiador ideal también, por lo que absorbe toda la radiación los colores de la luz que incide en su superficie y emitiendo radiación térmica.

Las primeras observaciones de este fenómeno fueron hechas en una fábrica de cerámicas por Thomas Wedgwood en 1792. Él observó que, sin importar la composición química de lo que pusiera en los hornos, cuando estos alcanzaban la misma temperatura emitían luz roja.

Los estudios de este fenómeno continuaron mejorando con los avances tecnológicos y en 1897 un científico austriaco demostró esta relación. Stefan encontró experimentalmente que la potencia emitida por unidad de área a todas las frecuencias es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta. En esta época, Wein propuso una ley que predice la longitud de onda que se emite con máxima potencia dependiendo de la temperatura del cuerpo y es coherente con las predicciones de la ley de Stefan:

$$\lambda_{Max} \cdot T = 2,898 \times 10^{-3} m \cdot K \quad (1)$$

Años después, en 1900, Planck, combinando la ley de Wein con principios de la mecánica estadística y las leyes de Maxwell, llegó a la siguiente ecuación:

$$I(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda \cdot k \cdot T}} - 1} \quad (2)$$

Conocida como la ley de Planck, donde  $I(\lambda)$  es la cantidad de energía por unidad de área, es decir, la intensidad de luz,  $K$  es la constante de Stefan - Boltzmann que vale  $1,38 \times 10^{-23} J \cdot K$ , y  $h$  es la constante de Planck que vale  $6,63 \times 10^{-34} J \cdot s$

Esta ley permite predecir la intensidad de energía irradiada por unidad de área de un cuerpo negro para cada longitud de onda. Para los parámetros de la luz visible (con longitud de onda de entre 400nm a 700nm) a una temperatura entre 600K y 1100K, la Ecuación (2) se puede aproximar de la siguiente manera sin mayor error:

$$I(\lambda) \approx \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot e^{-\frac{hc}{\lambda \cdot k \cdot T}} \quad (3)$$

Al utilizar receptores de luz la intensidad de radiación es proporcional a la intensidad de corriente generada por el receptor en el circuito.

$$I(\lambda) = b \cdot i \quad (4)$$

Para linealizar la Ecuación 3 aplicamos logaritmos de ambos lados:

$$\ln(I(\lambda)) = \ln\left(\frac{2hc^2}{\lambda^5}\right) \cdot \frac{-hc}{\lambda \cdot k \cdot T} \quad (5)$$

Definimos M como:

$$M = \ln\left(\frac{2hc^2}{\lambda^5}\right) \quad (6)$$

$$\ln(b \cdot i) = \frac{-hc}{\lambda \cdot k \cdot T} + M \quad (7)$$

Por propiedad de los logaritmos se obtiene la ecuación linealizada de la Ley de Planck:

$$\ln(b) + \ln(i) = \frac{-hc}{\lambda \cdot k \cdot T} \cdot \frac{1}{T} + M \quad (8)$$

Se define  $N$  como:

$$N = M - \ln(b) \quad (9)$$

$$\ln(i) = \frac{-hc^2}{\lambda \cdot k} \cdot \frac{1}{T} + N \quad (10)$$

Quedando logaritmo de la intensidad de corriente en función del inverso de la temperatura del cuerpo negro, cuya pendiente vale:

$$Pendiente = \frac{-hc}{\lambda k} \quad (11)$$

La temperatura de la resistencia se puede calcular de dos formas distintas. Por un lado, utilizando la resistividad del filamento dependiendo de la temperatura:

$$\rho(T) = \frac{R(T)}{R(T_{amb})} \cdot \rho(T_{amb}) \quad (12)$$

Donde  $\rho(T)$  es la resistividad en función de la temperatura,  $R(T)$  es la resistencia en función de la temperatura,  $R(T_{amb})$  es la resistencia en función de la temperatura ambiente y  $\rho(T_{amb})$  es la resistividad en función de la temperatura ambiente. Otra forma de calcular la temperatura en función de la resistencia, es la obtenida por el "Departamento de Física FCEyN" que llegaron a la siguiente relación:

$$T(R) = \left( \frac{T_{amb} \cdot R}{R(T_{amb})} \right)^\gamma \quad (13)$$

Donde  $\gamma$  vale  $(0,817 \pm 0,002)$  y  $R(300K) = 92,1 \pm 0,1\omega$

## DISPOSITIVO EXPERIMENTAL Y MÉTODOS

Para comprobar la ley de Planck se utiliza un dispositivo que consiste en una lámpara incandescente de 21W de uso automotriz conectada a una fuente de 12V y a una resistencia variable como se muestra en el diagrama del circuito. La lámpara se encuentra dentro de una caja oscura frente a un filtro (rojo o verde) que deja pasar luz de una única longitud de onda, y del otro lado del filtro un transistor 2N3055 conectado a un amperímetro.

La fuente se enciende y la resistencia se hace variar de tal forma que la diferencia de potencial en la lámpara vaya aumentando, de esta forma aumenta la intensidad de la luz emitida que llega al transistor y genera una señal eléctrica que se detecta con el amperímetro. Para saber la temperatura de la resistencia de la lámpara se mide la intensidad de corriente que circula por ella y la diferencia de potencial para saber su resistencia, como esta propiedad varía con la temperatura como se indica en la ecuación (12) podemos saber la temperatura de la resistencia de la siguiente forma:

$$T = -0,0508 \cdot \rho^2 + 35,938 \cdot \rho + 127,58 \quad (14)$$

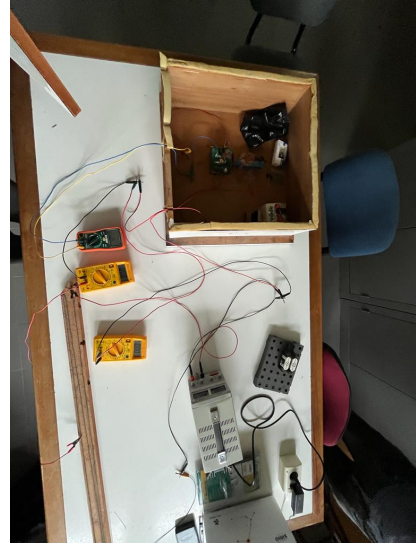


Figura 1. Montaje de la radiación de cuerpo negro.

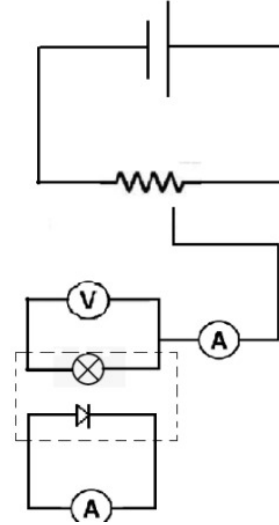


Figura 2. Circuito del dispositivo.

## RESULTADOS

De la toma de datos se obtuvo la siguiente tabla:

La temperatura de la resistencia se puede calcular utilizando la ecuación (12), que llamaremos  $T_1$ , o utilizando la ecuación (13), que llamaremos  $T_2$ . Se obtuvieron los siguientes valores para la temperatura:

Al graficar el  $\ln(i)$  en función de  $\frac{1}{T}$  se obtienen las siguientes gráficas:

Se puede apreciar que para ambos casos los datos se aproximan a una recta de ecuación:

$$\ln(i) = 6846 \frac{1}{T_1} + 9,86 \quad (15)$$

V(v)	I(A)	I( $\mu A$ )	V(v)	I(A)	I( $\mu A$ )
5,02	0,306	0,2	10,35	0,409	6,5
5,57	0,327	0,5	10,96	0,42	8,3
6,33	0,34	0,9	11,33	0,427	9,2
6,8	0,343	1,2	11,93	0,437	11
7,38	0,355	1,7	12,23	0,442	12
7,76	0,362	2,2	12,82	0,452	14,1
8,09	0,369	2,6	13,25	0,459	15,6
8,46	0,376	3,1	13,72	0,466	17,5
8,84	0,386	3,7	14,14	0,473	19,2
9,13	0,388	4,2	4,41	0,477	20,4
9,59	0,396	5,1	4,87	0,484	22,5
10,02	0,404	6	-	-	-

Cuadro I. Tabla de valores de voltajes e intensidad de corriente

$T_1(K)$	$T_1(K)$	$T_2(K)$	$T_2(K)$
609.39	862.85	617.51	879.90
642.90	885.06	653.13	902.27
672.91	897.39	684.75	914.64
707.44	918.87	720.82	936.15
734.92	929.23	749.32	946.50
753.35	948.62	768.34	965.83
767.21	962.70	782.60	979.84
783.55	978.74	799.35	995.75
794.94	991.33	810.99	1008.23
812.75	1000.11	829.15	1016.91
832.15	1014.38	848.85	1031.01
848.65	-	865.56	-

Cuadro II. Tabla de valores de voltajes e intensidad de corriente

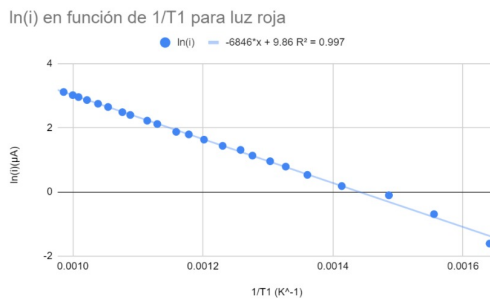


Figura 3. Gráfica de una  $\ln(i)$  en función de  $\frac{1}{T}$ .

$$\ln(i) = 6944 \frac{1}{T_2} + 9,83 \quad (16)$$

Se obtuvieron los siguientes valores de la constante de

Planck utilizando la ecuación (11).

## DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

La gráfica de logaritmo de intensidad de corriente en función del inverso de la temperatura de la resistencia

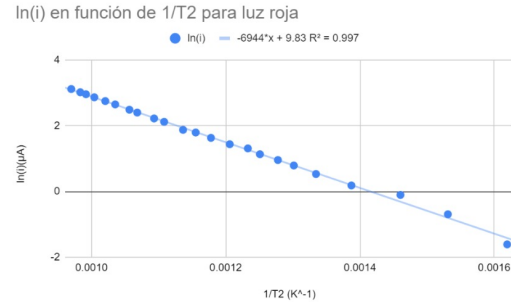


Figura 4. Gráfica de una  $\ln(i)$  en función de  $\frac{1}{T}$ .

Luz roja ( $T_1$ )	Luz roja( $T_2$ )	Luz verde( $T_1$ )	Luz verde( $T_2$ )
$2,08x10^{-34}$	$2,11x10^{-34}$	$1,75x10^{-34}$	$1,75^{-34}$

Cuadro III. Valores de la constante de Planck para la luz roja y verde para  $T_1$  y  $T_2$

es una gráfica lineal, comprobando la relación esperada teóricamente en la ecuación 9. A su vez, el coeficiente de correlación al cuadrado vale  $R^2=0,997$  en ambas gráficas, lo que indica que la aproximación por una recta es muy buena. Por lo visto en los resultados, los valores de la constante de Planck están en el orden del valor teórico. La diferencia entre los valores calculados y el valor teórico puede deberse a que los filtros no eran de gran calidad, lo que ocasiona que la luz que lo atraviesa no sea de la longitud de onda deseada (en orden del color rojo o verde) por lo que, los datos tomados van a tener una discrepancia con los teóricos debido a esta diferencia. A su vez, bajo estas consideraciones, independientemente de con qué filtro se trabaje, las pendientes de las gráficas dan resultados parecidos, esto es debido a que los datos de las temperaturas son similares, por lo que, se puede concluir que se puede realizar dicho experimento con el filtro deseado y corroborar que la resistencia de la lámpara se comporta como cuerpo negro.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] SEARWAY, R., 1989, *Física moderna*, Editorial Thomson.  
 [2] MARTINO, L,2000, *Determinación de la constante de Planck Utilizando una lámpara de Tungsteno*, Argentina.

- [3] SEARS - ZEMANSKY, 2009, *Física Universitaria*, Mexico, 12ª edición, vol 2.

- [4] FACULTAD DE INGENIERÍA, UDELAR, *Práctico 3, Laboratorio 2, Instituto de física*, Montevideo, Uruguay.