

EL EQUILIBRIO TÉRMICO EN LA RADIACIÓN DE UN OSCILADOR, COMO APLICACIÓN DIDÁCTICA PARA COMPRENDER FENÓMENOS DE LA RADIACIÓN TÉRMICA

THERMAL EQUILIBRIUM IN THE RADIATION OF AN OSCILLATOR, AS A DIDACTIC APPLICATION TO UNDERSTAND THERMAL RADIATION PHENOMENA

Fabián Ramírez,
Diana Buitrago.

RESUMEN

En este trabajo se presenta una perspectiva alternativa para trabajar el concepto de radiación térmica en el aula de clase. Nos basamos en la idea innovación didáctica en el sentido de ofrecer a los estudiantes una manera de hablar de fenómenos físicos que no se pueden ver a simple vista pero que se pueden comprender con base modelo explicativo intentando generar interés en el estudiante.

Palabras clave: Equilibrio térmico, radiación térmica, enseñanza de la física.

ABSTRACT

In this paper an alternative perspective is presented to work the concept of thermal radiation in the classroom. We rely on the idea of didactic innovation in the sense of offering students a way to talk about physics phenomena that cannot be seen with the naked eye but can be understood on the basis of explanatory model, trying to generate student interest.

Keywords: Thermal equilibrium, Thermal radiation, physics teaching.

INTRODUCCIÓN

Desde una visión actual de la física, el comportamiento de los átomos no se puede explicar con las leyes de la mecánica clásica, esto se debe a la complejidad de la materia a niveles subatómicos. Enseñar la física para describir un fenómeno que no se puede ver, no es usual en nuestra educación pero despierta mayor interés en los estudiantes que los fenómenos y experimentos tradicionales a los que nos han acostumbrado.

Históricamente desde que comenzó la discusión entre los que defendían la teoría atómica y los que no creían en ella, se plantearon diversos experimentos para fenómenos nuevos que solo podían explicarse con la existencia del átomo pero aun creyendo que la materia está formada por átomos la física newtoniana no satisface la comprensión ciertos fenómenos.

Una de estas dificultades se plantea de forma teórica en The Feynman Lectures on Physics: Mainly Mechanics, Radiation, and heat, Volume I, cap 41, donde se desarrolla un modelo teórico con el cual se puede lograr un equilibrio térmico en la radiación que genera un oscilador. Al hacer el análisis de forma clásica, da como resultado la ley de *Rayleigh*, pero que como veremos es un análisis incorrecto por eso se recurre al planteamiento de Max

Planck, él se percató de ese problema y cambio la comprensión que se tenía del fenómeno desarrollando una idea nueva. Esta nueva imagen de la física necesariamente influyo, modificando la ecuación que inicialmente Rayleigh había desarrollado, así no solo se puede explicar cómo lograr el equilibrio en la radiación, sino también como esto se relaciona directamente con un fenómeno conocido como *la radiación del cuerpo negro*. Fenómeno que se puede complementar con los trabajos en radiación desarrollados por Einstein.

¿COMO ENSEÑAR UN FENÓMENO DE ESTE TIPO A ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN MEDIA?

La cantidad de física que encierra este fenómeno es tan compleja que muchos maestros optan por no enseñarla en la secundaria, nuestro objetivo es demostrar que si se puede enseñar. Claro está que el reto es encontrar una estrategia que no atropelle el conocimiento de los estudiantes sino que comprendan de manera cualitativa un fenómeno y que puedan describirlo en lenguaje matemático simple, si es posible.

La solución teórica de la que partimos para enseñar el fenómeno utiliza matemáticas, que incluso un estudiante de pregrado necesita cierto nivel para comprender. A continuación presentamos el desarrollo del modelo teórico.

SOLUCIÓN TEÓRICA

Para el desarrollo teórico suponemos que el oscilador cargado es un electrón oscilando de un lado a otro en un átomo. Primero comenzaremos calculando la energía media radiada del oscilador por segundo:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{2r_0\omega_0^2}{3c} kT \quad (1)$$

Ahora tenemos que calcular cuanta luz se dispersa en el oscilador, cuando incide sobre el la radiación reflejada de las paredes, en otras palabras vamos a hallar el color que emite el cuerpo negro por el agujero, a una temperatura dada, luego la cantidad total que se vuelve a radiar es la intensidad incidente $I(\omega) d\omega$ multiplicada por la sección eficaz (σ) que estaría dada por:

$$\sigma_s = \frac{2\pi r_0^2 \omega_0^2}{3 \left[(\omega - \omega_0)^2 + \frac{\gamma^2}{4} \right]} \quad (2)$$

Ahora se obtiene la cantidad de energía dispersada en el intervalo $d\omega$:

$$\frac{dW}{dt} = \int_0^\infty \frac{2\pi r_0^2 \omega_0^2 I(\omega) d\omega}{3 \left[(\omega - \omega_0)^2 + \frac{\gamma^2}{4} \right]} = 3\gamma kT \quad (3)$$

$$I(\omega) = \frac{\omega^2 kT}{\pi^2 c^2} \quad (4)$$

Dando como resultado:

Esta es la distribución de energía en nuestro cuerpo negro a una temperatura (T) llamada ley de Rayleigh, donde se muestra que el equilibrio no depende de con que cuerpo estemos en equilibrio, solo depende de la temperatura. Si teóricamente se hiciera la grafica de (4), observaríamos que la intensidad contenida en nuestro cuerpo varía con el cuadrado de la frecuencia. Pero esto no es lo que se observa, por que en la grafica experimental hay un punto en el que la intensidad desciende, este hecho es la razón por la cual la formulación clásica del problema no puede describir de manera acertada la distribución de luz proveniente de un cuerpo negro.

La forma más acertada es pensar que el oscilador solo puede tomar ciertos valores de energía, de este modo tenemos que:

$$E = h\omega \quad (5)$$

Donde los niveles de energía permitidos para el oscilador están separados una distancia $h\omega_0$, así la probabilidad de ocupar un nivel seria:

$$P(E) = \alpha e^{-E/kT} \quad (6)$$

Y en un caso un poco más real donde hay muchos osciladores, cada uno con frecuencia ω la energía media del sistema estaría descrita por:

$$\langle E \rangle = \frac{\eta\omega}{e^{\eta\omega/kT} - 1} \quad (7)$$

De donde finalmente obtenemos la distribución de luz para nuestro cuerpo negro:

$$I(\omega) = \frac{\eta\omega^3}{\pi^2 c^2 (e^{\eta\omega/kT} - 1)} \quad (8)$$

Esta ecuación se utiliza en física cuántica para determinar los niveles de energía, pero se conserva la formulación clásica del término de sección eficaz, así podemos darnos cuenta que las fórmulas cuánticas son compatibles de algún modo con las clásicas, históricamente esta ecuación concuerda con la experiencia.

De algún modo los estudiantes y nosotros tendemos que corroborar esta teoría, que no es más que representar experimentalmente las curvas que resultarían si le damos valores a la intensidad en nuestra integral (8).

Obviamente a los estudiantes no se les presentara el procedimiento anterior, nuestra propuesta pretende desarrollar experimentalmente el modelo ideal de equilibrio térmico que Feynman propone en sus lecturas, y utilizando las incógnitas o dudas que se generen durante la práctica llegar a la comprensión de conceptos termodinámicos que están relacionados con la física moderna de este modo, partiendo de la teoría atómica clásica lograr una introducción de la mecánica cuántica, usando un medio teórico-experimental que puede ser implementado fácilmente, de este modo mostrar lo fascinante que es el mundo cuántico.

DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

Para poder empezar a diseñar la práctica, vamos a suponer que los alumnos no han tomado un curso de termodinámica y sus únicos preconceptos son de mecánica newtoniana.

Haciendo uso de un lenguaje no muy técnico, se propone como problema físico, intentar diseñar un aparato que permita encerrar la luz, para esto el alumno deberá tener algunas ideas claras como:

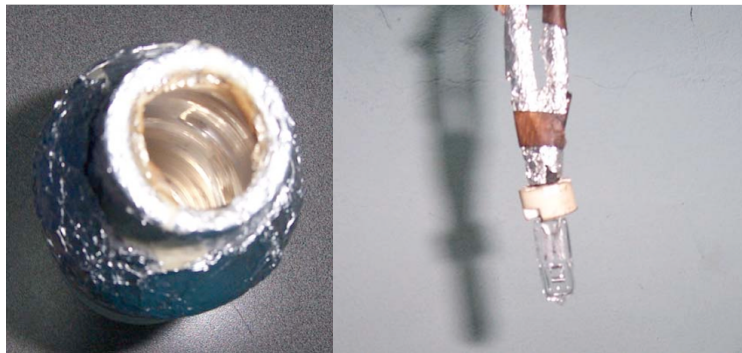
1. ¿QUÉ ES RADIACIÓN TÉRMICA?
2. ¿QUÉ ES EQUILIBRIO TÉRMICO?
3. ¿ESTO SE PUEDE HACER EN LA REALIDAD?
4. ¿EN LA PRACTICA LAS COSAS CAMBIAN?

Pretendemos solucionar experimentalmente el problema del equilibrio térmico de la radiación cuando el alumno intenta responder a estas preguntas, es ahí donde el maestro

puede desarrollar los conceptos Termodinámicos y de Física Moderna que se necesitan para el desarrollo del experimento.

La conclusión a esto es que es necesario diseñar un cuerpo que no deje escapar calor por ningún medio, (¿QUÉ ES CALOR?, este concepto se definió al dar respuesta a las anteriores 4 preguntas). Para esto se utilizó un vaso Dewar o como tradicionalmente lo conocemos termo que permite un buen aislamiento con la única dificultad que en la parte superior se habrá un orificio para que la termocupla pueda medir la temperatura a la que se encuentra el sistema, en este caso será la radiación dentro del termo, este orificio alterara de algún modo el equilibrio térmico al interior del cuerpo, pero podemos determinar que la perdida es muy pequeña en función del tiempo comparada con otros cuerpos, cosa que los alumnos tendrán que deducir al final de la experiencia.

El dispositivo experimental consta de un bombillo alógeno que produce la radiación al interior del cuerpo negro (¿POR QUÉ ALOGENO? ¿SERA QUE CON OTRO BOMBILLO SE PUEDE?)



Una termocupla adaptada a un multímetro que me mide temperatura (¿POR QUÉ UNA TERMOCUPLA? ¿QUE ES UNA TERMOCUPLA, COMO FUNCIONA? ¿QUÉ OTROS INSTRUMENTOS DE MEDIDA APARTE DEL TERMÓMETRO DE MERCURIO EXISTEN?).

La fuente de alimentación para el bombillo (oscilador) estará a un máximo de 12V, para que el interior del termo logre una temperatura significativa en poco tiempo (¿TIENE QUE VER ALGO LA INTENSIDAD DEL BOMBILLO CON LA TEMPERATURA?). Un amperímetro mide la intensidad de la corriente en el circuito formado por una fuente de

alimentación y una resistencia que está representada por el filamento del bombillo de tungsteno.

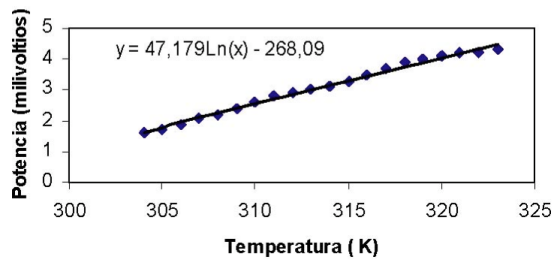
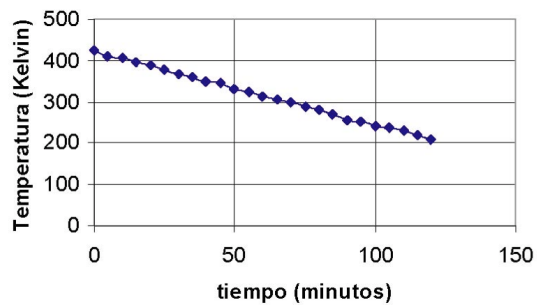
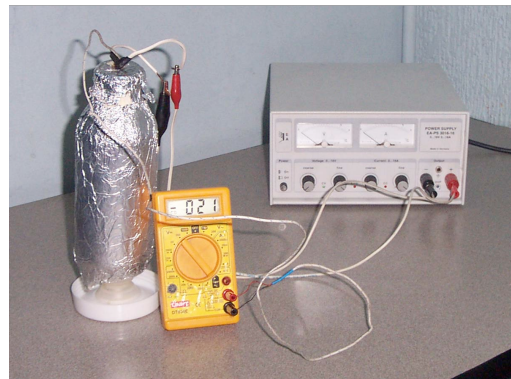
El siguiente paso será medir la temperatura al interior del termo, si esta no varía en función del tiempo se deduce que la radiación esta en equilibrio térmico.



ESQUEMA DEL EXPERIMENTO

RESULTADOS

Grafica 1



CONCLUSIONES

Se ha diseñado un sistema que se acerca a un equilibrio termodinámico ideal de la radiación, en la gráfica 1, se observa que en dos horas la pérdida de energía es mínima teniendo en cuenta que el sistema no está completamente aislado, ya que se introduce la termocupla al cuerpo por medio de un orificio, y por este se escapa energía.

Lo interesante de la gráfica 2, es que la pendiente es el exponente que relaciona la potencia emitida respecto a la temperatura: $\ln P = n \ln T$

Luego si la pendiente es de orden 4, la relación entre la potencia emitida con la cuarta potencia de la temperatura se cumple, el dato experimental aproximado es de 3.95, para un error porcentual del 1.25%.

El uso del modelo experimental planteado en este trabajo no es apropiado para describir las curvas de intensidad en función de la frecuencia, ya que el cuerpo que permite el equilibrio no resiste temperaturas superiores a 500^oC, y para obtener graficas apreciables es necesario temperaturas superiores a los 1000^oK por eso en este trabajo la única manera de corroborar si nuestro sistema se comporta como un cuerpo negro es por la ley de Boltzman.

BIBLIOGRAFÍA

FEYNMAN Richard. The Feynman Lectures on Physics: Mainly Mechanics, Radiation, and heat, Volume I. California: Addison-Wesley, 1963.

