PRACTICA DE LABORATORIO III-5

RADIACIÓN TÉRMICA

OBJETIVOS

1. Estudio cualitativo de la emisión y absorción de la radiación térmica.
2. Verificación de la ley del inverso cuadrado de la radiación respecto a la distancia.
3. Verificación de la ley de Stefan-Boltzmann, para bajas y altas temperaturas.

MATERIALES

1. Sensor de radiación (Pila de Moll).
2. Cubo de Leslie (cubo de radiación térmica).
3. Lámpara de Stefan-Boltzmann.
4. Fuente de voltaje.
5. Multímetro.
6. Voltímetro

ACTIVIDADES PRELIMINARES

1. Usando la relación $R_T(\nu)d\nu=(c/4)\rho_T(\nu)d\nu$ entre la radiancia espectral R_T y la densidad de energía $\rho_T(\nu)$, junto con la ley de radiación de cuerpo negro de Planck, derive la ley de Stefan-Boltzmann; $R_T=\sigma T^4$. (La energía radiada por unidad de área es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura de la superficie radiante)
2. Derive la ley de desplazamiento de Wien, $\lambda_{\max}T=0,2014 hc/K$, resolviendo la ecuación $d\rho(\lambda)/d\lambda=0$. (Ayuda: Hacer el cambio de variables $hc/\lambda KT=x$. Es recomendable la aplicación de un procedimiento numérico para resolver la ecuación resultante).
3. Calcule que fracción de σT^4 está contenida en el rango de 0,5 a 40 μm de la distribución de cuerpo negro. Para temperaturas entre 350°K y 1000°K.

4. Investigue los temas: Cubo de Leslie, Pila termoeléctrica (pila de Moll).
5. Revise los objetivos de la práctica.
6. Discuta si es posible en el contexto de este experimento medir la constante de Stefan-Boltzman σ . **Sugerencia:** ¿Reflexione que tipo de consideraciones debería hacer?

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La radiación electromagnética emitida por un cuerpo producto de su temperatura se denomina radiación térmica. Todos los cuerpos emiten dicha radiación al medio que los rodea, pudiendo así mismo absorberla de ese medio.

Cuando un cuerpo está más caliente que su entorno, el mismo comienza a emitir radiación térmica, y su entorno la absorbe. Cuando el equilibrio térmico es alcanzado (temperatura del cuerpo = temperatura del entorno), entonces las tasas de emisión y absorción de radiación del cuerpo igualmente se equilibran.

La materia condensada (sólidos, líquidos) emite un espectro continuo de radiación. Generalmente, los detalles en la forma del espectro de la radiación térmica emitida por un cuerpo caliente dependen de su composición. Sin embargo, diversos experimentos han demostrado que existe un solo tipo de cuerpo que tiene un espectro de radiación térmica de carácter universal. Estos cuerpos son denominados **cuerpos negros**.

La distribución espectral de la radiación de los cuerpos negros es especificada por la cantidad $R_T(\nu)$, denominada radiancia espectral, definiendo a $R_T(\nu)$ igual a la **energía emitida por unidad de tiempo y por unidad de área en radiación de frecuencia en el intervalo $(\nu, \nu + d\nu)$ a la temperatura absoluta T**. La integral de la radiancia espectral $R_T(\nu)$ sobre todas las frecuencias R_T es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura, a saber $R_T = \sigma T^4$. Esta relación se denomina la Ley de Stefan-Boltzmann, en donde $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ (W/m^2K^4) es la constante que lleva el mismo nombre.

FUNDAMENTOS EXPERIMENTALES

Esta práctica consta de cuatro experiencias involucrando aspectos importantes de la radiación térmica de los cuerpos. Antes de la descripción de las experiencias vale mencionar ciertos aspectos sobre el equipo a utilizar.

- El sensor de radiación (Pila de Moll o Termo pila) mide la intensidad relativa de la radiación térmica incidente. Especificaciones:
 - Rango de temperaturas: -65°C hasta 85°C .
 - Máxima potencia incidente: $0,1 \text{ Watts/cm}^2$.
 - Respuesta espectral: aprox. Constante desde $0,5$ hasta $40\mu\text{m}$.
 - Señal de salida: lineal desde 10^{-5} hasta $10^{-1} \text{ Watts/cm}^2$.
- La lámpara de Boltzmann. Es una fuente de radiación térmica de altas temperaturas. Cuando el filamento es bien orientado, constituye una buena aproximación a una fuente puntual de radiación térmica. Ajustando el voltaje de la lámpara (en un máximo de 13 voltios y una corriente entre 2 y 3A), la temperatura del filamento puede alcanzar los 3000°C . Para determinar la temperatura del filamento, se deben determinar el voltaje y la corriente que pasa a través de él, de manera de poder calcular la resistencia óhmica, y luego utilizar una tabla de conversión dada por el fabricante. Para pequeñas variaciones de la temperatura del filamento, esta viene determinada según la siguiente relación:

$$T = \frac{R - R_{ref}}{\alpha R_{ref}} + T_{ref}$$

En donde:

T= Temperatura

R= Resistencia del filamento a la temperatura T.

T_{ref} = Temperatura de referencia (usualmente la temperatura del medio)

R_{ref} = Resistencia a temperatura T

α = Coeficiente de temperatura/resistividad del filamento ($\alpha = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$)

NOTA: Para diferencias de temperatura grandes, α deja de ser constante y por tanto la ecuación anterior no es tan precisa.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Sugerencia

Las experiencias sugeridas están ordenadas pensando en términos de los conceptos físicos, sin embargo en la práctica usted debería tomar algunas previsiones. Como el tiempo de laboratorio es frecuentemente corto para realizar todos los experimentos es recomendable realizar las experiencias B y C, mientras usted ejecuta la secuencia 3,4,5 de la parte A. Eventualmente con el cubo de Leslie en HIGH usted puede realizar sus mediciones para la experiencia D

A. Introducción a la radiación térmica.

Descripción cualitativa de la radiación térmica de superficies diferentes.

1. Conectar el ohmímetro al cubo de Leslie y el voltímetro al sensor térmico. Medir la resistencia inicial del cubo.
2. Encender el cubo de radiación térmica y ajustar la perilla en HIGH (ohmímetro marcará $40\text{ K}\Omega$) colocando luego la perilla en 5
3. Cuando se alcance el equilibrio térmico (cuando la medida del ohmímetro fluctúe alrededor de un valor fijo).
4. Mida la radiación emitida por cada una de las caras del cubo colocando el sensor de radiación frente a cada cara y procurando que la distancia de separación entre el sensor y cada una de las caras permanezca constante.
5. Repetir los pasos 3 y 4 para intensidades marcadas por la perilla de: 6,5; 8; y HIGH.

PREGUNTAS

1. Hacer una lista de las superficies del cubo de radiación en función de la cantidad de radiación emitida. ¿Es este orden independiente de la temperatura?
2. Es una regla general que buenos detectores de radiación son también buenos emisores. ¿Son sus medidas consistentes con esta regla?. Explique.
3. ¿Pueden diferente objetos, aproximadamente a la misma temperatura, emitir diferentes cantidades de radiación?.

B. Ley del Inverso Cuadrado.

Verificación de la ley del inverso cuadrado de la radiación respecto a la distancia para una lámpara de Stefan-Boltzmann.

Si este experimento está siendo realizado mientras se está calentando el cubo de Leslie, debe colocarse la placa metálica entre la posición del cubo y el sensor. Además el sensor debe apuntar en dirección opuesta al cubo. Esto se hace con la finalidad de evitar errores en las mediciones y procurar que el sensor reciba radiación que provenga únicamente de la lámpara.

1. Conectar la lámpara de Stefan-Boltzmann a la fuente de tensión procurando que el voltaje no sea mayor a 13 V.
2. Alinear la altura del sensor a la altura de la lámpara y con una cinta métrica medir la separación entre ambos.
3. Con la lámpara apagada desplace el sensor de radiación por la cinta métrica registrando las mediciones para diferentes distancias de separación.
4. Encender la lámpara con un voltaje aproximadamente igual a 5 V y mida el voltaje generado en el sensor variando la distancia de separación entre la lámpara y éste. **Opcional:** Posteriormente se repite este paso pero empleando un voltaje aproximadamente igual a 10 V.

PREGUNTAS

1. ¿Es la lámpara de Boltzmann utilizada realmente una fuente puntual de radiación?, En caso negativo, ¿Cómo se verían afectados sus resultados?

C. Stefan-Boltzmann (altas temperaturas).

Verificación de la ley de Stefan-Boltzmann para altas temperaturas.

La relación de Stefan-Boltzmann está dada por:

$$R = \sigma T^4; \quad (\sigma = 5,6703 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4)$$

Es importante que las mediciones en este experimento con la termopila sean hechas rápidamente y entre medidas cerrar el agujero donde esta la termopila o colocar la lamina metálica entre el sensor y la lámpara.

1. Colocar el detector de radiación térmica a una distancia de 6 cm de la lámpara.
2. Medir el voltaje y la corriente que circula por la lámpara para calcular la temperatura del filamento.
3. Variar el voltaje de la lámpara y registrar la lectura del voltímetro conectado al sensor para cada voltaje.
4. Obtenga de un gráfico Log-Log la función radiación en términos de la temperatura.
5. Verifique la tendencia T^4 en sus datos. Es importante estimar el error en su análisis para poder cuantificar su verificación.

PREGUNTAS

1. ¿La relación entre la radiación y la temperatura es la esperada?, ¿ Se cumple la relación para todo el rango de temperaturas medidas .?
2. La ley de Stefan-Boltzmann es solamente cierta para la radiación de un cuerpo negro ideal. ¿Es el filamento de la lámpara un verdadero cuerpo negro?.
3. ¿Que otras fuentes de radiación térmica, aparte del filamento de la lampara, pueden haber influido en sus medidas?, ¿Cómo haría usted para corregir esto?.

D. Stefan-Boltzmann (temperatura ambiente).

En la experiencia anterior se investigó la ley de Stefan-Boltzmann ($R_{\text{rad}} = \sigma T^4$) para altas temperaturas utilizando un filamento incandescente. A dichas temperaturas (aproximadamente 1000 a 3000°K), la temperatura ambiente es lo suficientemente pequeña como para ser despreciada. En esta última experiencia se verificará la relación de Stefan-Boltzmann a temperaturas más bajas usando el cubo de radiación térmica.

Si el detector de radiación estuviese operando al cero absoluto, produciría un voltaje proporcional a la intensidad de radiación que recibe. Sin embargo el detector no está a esta temperatura, por tanto también irradiará energía térmica. Según la ley de Stefan Boltzmann esta radiación es $R_{\text{detector}} = \sigma T_{\text{detector}}^4$. El voltaje producido por el detector es efectivamente proporcional a :

$$R_{\text{refectiva}} = R_{\text{rad}} - R_{\text{sensor}} \quad \text{o} \quad R_{\text{net}} = \sigma(T^4 - T_{\text{sensor}}^4)$$

1. Teniendo el sensor apuntando a la cara negra del cubo de Leslie y a una distancia entre 1 y 2 cm., colocar la placa metálica como escudo entre el cubo y el sensor, mida la intensidad de la radiación a temperatura ambiente.
2. Encienda el cubo con la perilla en HIGH, una vez que el ohmímetro marque una resistencia correspondiente a 12 °C por encima de la temperatura ambiental, comience sus mediciones. Usted puede optar por la estrategia más conveniente para bajar la temperatura.
3. Observe permanentemente la lectura del ohmímetro hasta que comience el descenso de la temperatura del cubo y proceda rápidamente a registrar las medidas del ohmímetro y del voltaje producido por la termo pila. No es necesario que usted espere a que la temperatura del cubo se estabilice si usted realiza sus mediciones suficientemente rápido.
4. Verifique la tendencia T^4 en sus datos. Es importante estimar el error en su análisis para poder cuantificar su verificación

PREGUNTAS

1. Que indica su gráfico acerca de la ley de Stefan-Boltzmann a bajas temperaturas?.
2. Es su gráfico una línea recta? Discuta cualquier variación que tenga.

E. EXPERIENCIA OPCIONAL.(Determinar la constante de Stefan-Boltzmann)

Partiendo de que la tendencia σT^4 está bien representada por el conjunto de datos tomados por usted en la sección **C** y **D**. Se propone que usted determine la constante de Stefan-Boltzmann.

1 La ley de Stefan-Boltzmann relaciona la potencia emitida **por el cuerpo** con su temperatura. A partir del voltaje medido en la parte **C**, estudie como determinar la potencia por unidad de área **Watt/A** emitida en el **cuerpo**.

Sugerencia para el caso de la sección **C**:

1. Determine la potencia total a la distancia a la que se encuentra el detector. Es decir considerando la esfera total cuyo radio es la distancia fuente-detector.
2. Estime el área del cuerpo (filamento del bombillo).

3. Considerando 1 y 2, traduzca sus valores de voltaje medidos en **Watt/A** en el cuerpo.

Sugerencia para el caso de la sección **D**:

Repetir la sugerencia 3 del caso de la sección **C**, asumiendo en este caso que **Watt/A** en el cubo de Leslie es igual a **Watt/A** en el detector. ¿Explique porqué?.

- 2 Grafique **Watt/A** Vs. T^4 para el caso de la sección **C**.
Grafique **Watt/A** Vs. $T^4 - T_{ref}^4$ para el caso de la sección **D**

3 Indique los valores de σ , encontrados con su respectivo error. Discuta las limitaciones de sus resultados.

REFERENCIAS

1. D. Eisenberg, R. Resnick, Quantum Physics, Cap.1, Ed. John Wiley & Sons (1974).
2. Alonso y Finn, Fundamentos Cuánticos y Estadísticos, volumen 3, capítulo 1, Fondo Educativo Interamericano (1971).