

Ley de radiación de Stefan-Boltzmann



Física

Termodinámica / Termodinámica

Energía térmica

ciencia aplicada

Ingeniería

Energías renovables

Energía solar



Nivel de dificultad

difícil



Tamaño del grupo

2



Tiempo de preparación

45+ minutos



Tiempo de ejecución

45+ minutos

This content can also be found online at:

<http://localhost:1337/c/606625daf1639a0003d1aac3>

PHYWE

Información para el profesor

Aplicación

PHYWE

Fig. 1: Montaje experimental

El conocimiento del comportamiento radiativo de la materia en función de la temperatura se utiliza ampliamente en campos como la astronomía o en la industria siderúrgica para comprobar la temperatura del material con el que se trabaja.

Información adicional para el profesor (1/2)

**PHYWE**

Conocimiento previo



Principio

Los conocimientos previos para este experimento se encuentran en la sección de Principio.

Según la ley de Stefan-Boltzmann, la energía emitida por un cuerpo negro por unidad de superficie y unidad de tiempo es proporcional a la potencia "cuatro" de la temperatura absoluta del cuerpo. La ley de Stefan-Boltzmann también es válida para un cuerpo llamado "gris" cuya superficie presenta un coeficiente de absorción independiente de la longitud de onda inferior a uno. En el experimento, el cuerpo "gris" está representado por el filamento de una lámpara incandescente cuya emisión de energía se investiga en función de la temperatura.

Información adicional para el profesor (2/2)

**PHYWE**

Objetivo

El objetivo de este experimento es comprobar la ley de radiación de Stefan-Boltzmann.



Tareas

1. Medir la resistencia del filamento de la lámpara incandescente a temperatura ambiente y conocer la resistencia del filamento R_0 a cero grados centígrados.
2. Medir la densidad de flujo de energía de la lámpara a diferentes tensiones de calentamiento. Para cada tensión de calentamiento se leen las corrientes de calentamiento correspondientes y se calcula la resistencia del filamento correspondiente. Anticipando una dependencia de la temperatura de segundo orden de la resistencia del filamento, se puede calcular la temperatura a partir de las resistencias medidas.

Principio (1/4)

Si la densidad de flujo de energía L de un cuerpo negro, por ejemplo, la energía emitida por unidad de superficie y unidad de tiempo a la temperatura T y la longitud de onda λ dentro del intervalo $d\lambda$ se designa por $dL(T, \lambda)/d\lambda$. La fórmula de Planck dice:

$$\frac{dL(\lambda, T)}{d\lambda} = \frac{2c^2 h \lambda^{-5}}{e^{\frac{hc^{-1}}{\lambda k T}}}$$

con c = velocidad de la luz = $(3.00 \cdot 10^8 \text{ [m/s]})$ h = Constante de Planck = $(6.62 \cdot 10^{-34} \text{ [J} \cdot \text{s]})$ k = constante de Boltzmann = $(1.381 \cdot 10^{-23} \text{ [J} \cdot \text{K}^{-1}])$

La integración de la ecuación (1) sobre el rango total de longitudes de onda desde $\lambda = 0$ a $\lambda = \infty$ da la densidad de flujo $L(T)$ (Ley de Stefan-Boltzmann).

$$L(T) = \frac{2\pi^5}{15} \cdot \frac{k^4}{c^2 h^3} \cdot T^4$$

Principio (1/4)

Si la densidad de flujo de energía L de un cuerpo negro, por ejemplo, la energía emitida por unidad de superficie y unidad de tiempo a la temperatura T y la longitud de onda λ dentro del intervalo $d\lambda$ se designa por $dL(T, \lambda)/d\lambda$. La fórmula de Planck dice:

$$\frac{dL(\lambda, T)}{d\lambda} = \frac{2c^2 h \lambda^{-5}}{e^{\frac{hc^{-1}}{\lambda k T}}}$$

con c = velocidad de la luz = $(3.00 \cdot 10^8 \text{ [m/s]})$ h = Constante de Planck = $(6.62 \cdot 10^{-34} \text{ [J} \cdot \text{s]})$ k = constante de Boltzmann = $(1.381 \cdot 10^{-23} \text{ [J} \cdot \text{K}^{-1}])$

La integración de la ecuación (1) sobre el rango total de longitudes de onda desde $\lambda = 0$ a $\lambda = \infty$ da la densidad de flujo $L(T)$ (Ley de Stefan-Boltzmann).

$$L(T) = \frac{2\pi^5}{15} \cdot \frac{k^4}{c^2 h^3} \cdot T^4$$

Principio (2/4)

Respectivamente $L(T) = \sigma \cdot T^4$ con $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} [\text{W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^{-4}]$

La proporcionalidad $L \sim T^4$ también es válido para un cuerpo llamado "gris" cuya superficie muestra un coeficiente de absorción independiente de la longitud de onda inferior a uno.

Para demostrar la validez de la ley de Stefan-Boltzmann, medimos la radiación emitida por el filamento de una lámpara incandescente que representa bastante bien un cuerpo "gris". Para una distancia fija entre el filamento y la termopila, el flujo de energía ϕ que llega a la termopila es proporcional a $L(T)$.

$$\phi \sim L(T)$$

Debido a la proporcionalidad entre ϕ y la f.e.m. termoeléctrica, U_{therm} de la termopila, también podemos escribir:

$$U_{\text{therm}} \sim T^4$$

Principio (2/4)

Respectivamente $L(T) = \sigma \cdot T^4$ con $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} [\text{W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^{-4}]$

La proporcionalidad $L \sim T^4$ también es válido para un cuerpo llamado "gris" cuya superficie muestra un coeficiente de absorción independiente de la longitud de onda inferior a uno.

Para demostrar la validez de la ley de Stefan-Boltzmann, medimos la radiación emitida por el filamento de una lámpara incandescente que representa bastante bien un cuerpo "gris". Para una distancia fija entre el filamento y la termopila, el flujo de energía ϕ que llega a la termopila es proporcional a $L(T)$.

$$\phi \sim L(T)$$

Debido a la proporcionalidad entre ϕ y la f.e.m. termoeléctrica, U_{therm} de la termopila, también podemos escribir:

$$U_{\text{therm}} \sim T^4$$

Material

Posición	Material	Artículo No.	Cantidad
1	Banco óptico expert I = 60 cm	08283-00	1
2	BASE PARA BANCO OPTICO expert, REGULABLE	08284-00	2
3	JINETE P.BANCO OPTICO expert, H = 80MM	08286-02	2
4	AMPLIFICAD.D.MEDICION UNIVERSAL	13626-93	1
5	PILA TERMOELECTRICA DE MOLL	08480-00	1
6	TUBO PROTECTOR P. 08479.00	08480-01	1
7	PHYWE Transformador variable con rectificador DC: 12 V, 5 A / AC: 15 V, 5 A	13540-93	1
8	PORTALAMPARAS ED 14, CON VARILLA	06175-00	1
9	LAMPARA 6 V/5 A, ED 14	06158-00	3
10	CAJA DE CONEXION	06000-00	1
11	RESISTENCIA 100 OHM 2%, 1W, G1	06057-10	1
12	Multímetro digital, 3 1/2-visualizado de caracteres	07122-00	3
13	Cable de conexión, 32 A, 500 mm, azul	07361-04	4
14	Cable de conexión, 32 A, 500 mm, rojo	07361-01	4

Principio (4/4)

La resistencia R_0 a 0 °C puede hallarse utilizando la relación

$$R_0 = \frac{R(t_R)}{1+\alpha t_R + \beta t_R^2}$$

Resolver R(t) con respecto a t y utilizando la relación T = t + 273 da:

$$T = 273 + \frac{1}{2\beta} \left(\sqrt{a^2 + 4\beta \left(\frac{R(t)}{R_0} - 1 \right)} - a \right)$$

R(t_R) y R(t) se encuentran aplicando la ley de Ohm, por ejemplo, midiendo la tensión y la corriente a través del filamento.

Material

Posición	Material	Artículo No.	Cantidad
1	Banco óptico expert l = 60 cm	08283-00	1
2	BASE PARA BANCO OPTICO expert, REGULABLE	08284-00	2
3	JINETE P.BANCO OPTICO expert, H = 80MM	08286-02	2
4	AMPLIFICAD.D.MEDICION UNIVERSAL	13626-93	1
5	PILA TERMOELECTRICA DE MOLL	08480-00	1
6	TUBO PROTECTOR P. 08479.00	08480-01	1
7	PHYWE Transformador variable con rectificador DC: 12 V, 5 A / AC: 15 V, 5 A	13540-93	1
8	PORTALAMPARAS ED 14, CON VARILLA	06175-00	1
9	LAMPARA 6 V/5 A, ED 14	06158-00	3
10	CAJA DE CONEXION	06000-00	1
11	RESISTENCIA 100 OHM 2%, 1W, G1	06057-10	1
12	SOLDADORES DE PUNTA DE CERAMICA	07100-00	2



Montaje y ejecución

Montaje

El experimento se inicia montando el circuito de la Fig. 2 para medir la resistencia del filamento a temperatura ambiente. Se conecta una resistencia de $100\ \Omega$ en serie con la lámpara para permitir un ajuste fino de la corriente. Para 100 mADC y 200 mADC se leen las caídas de tensión a través del filamento y se calcula la resistencia a temperatura ambiente. Las intensidades de corriente son lo suficientemente pequeñas como para despreciar los efectos del calentamiento.

A continuación, se construye el montaje del experimento de la Fig. 1. La resistencia de $100\ \Omega$ ya no forma parte del circuito. El filamento se alimenta ahora con una fuente de tensión alterna variable a través de un amperímetro que permite medir corrientes alternas de hasta 6 amperios. El voltímetro se ramifica a través del filamento y la tensión alterna se incrementa en pasos de 1 voltio hasta un máximo de 8 V CA.

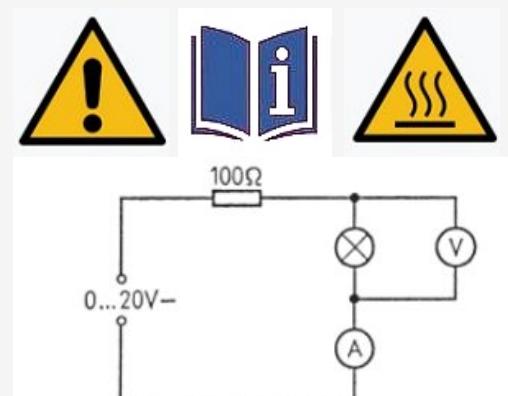


Figura 2: Circuito para medir la resistencia del filamento a temperatura ambiente.

Montaje

PHYWE

El experimento se inicia montando el circuito de la Fig. 2 para medir la resistencia del filamento a temperatura ambiente. Se conecta una resistencia de $100\ \Omega$ en serie con la lámpara para permitir un ajuste fino de la corriente. Para 100 mADC y 200 mADC se leen las caídas de tensión a través del filamento y se calcula la resistencia a temperatura ambiente. Las intensidades de corriente son lo suficientemente pequeñas como para despreciar los efectos del calentamiento.

A continuación, se construye el montaje del experimento de la Fig. 1. La resistencia de $100\ \Omega$ ya no forma parte del circuito. El filamento se alimenta ahora con una fuente de tensión alterna variable a través de un amperímetro que permite medir corrientes alternas de hasta 6 amperios. El voltímetro se ramifica a través del filamento y la tensión alterna se incrementa en pasos de 1 voltio hasta un máximo de 8 V CA.

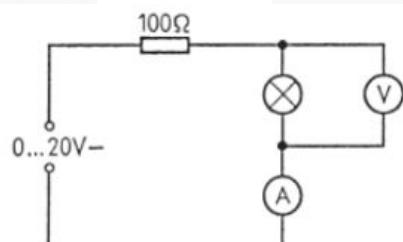


Figura 2: Circuito para medir la resistencia del filamento a temperatura ambiente.

Ejecución

PHYWE

Observación: la tensión de alimentación de la lámpara incandescente es de 6 V CA. Se puede aplicar una tensión de hasta 8 V CA si el periodo de alimentación se limita a unos minutos.

Inicialmente, se aplica una tensión de 1 V CA a la lámpara y se gira la termopila Moll, que se encuentra a una distancia de 30 cm del filamento (soporte deslizante fijo) hacia la derecha y hacia la izquierda hasta que la f.e.m. termoeléctrica muestre un máximo. El eje del filamento cilíndrico debe ser perpendicular al eje del banco óptico. Dado que la f.m.e. termoeléctrica es del orden de la magnitud de unos pocos milivoltios, hay que utilizar un amplificador para obtener lecturas precisas. El factor de amplificación será de 102 o 103 cuando se utilice el voltímetro conectado al amplificador en el rango de 10 V. Antes de tomar una lectura de la f.e.m. termoeléctrica, hay que asegurar un adecuado ajuste a "cero". Esto se hace alejando la lámpara junto con su soporte deslizante del banco durante unos minutos. El amplificador se utiliza en el modo LOW DRIFT ($104\ \Omega$) con una constante de tiempo de 1 s.

Después de volver a colocar la lámpara en el banco, se puede tomar la lectura si la Moll-thermopile ha alcanzado su equilibrio. Esto lleva aproximadamente un minuto. Hay que tener cuidado de que ninguna radiación de fondo perturbe la medición.