

Equivalente eléctrico del calor

T O
Joule
CALORÍA

Objetivo

Estudiar la relación entre el trabajo eléctrico con el calor. Determinar cuantitativamente la relación entre Joules y calorías. Estudio experimental de un calorímetro de mezclas.

Introducción

El principio de conservación de la energía nos dice que si una dada cantidad de energía de algún tipo se transforma completamente en calor, la variación de la energía térmica resultante debe ser equivalente a la cantidad de energía entregada. En este experimento buscamos demostrar la equivalencia entre la energía entregada a un sistema y el calor en que se convierte. Si la energía se mide en Joules y el calor en calorías, nos propondremos también encontrar la equivalencia entre estas unidades. La relación cuantitativa entre Joules y calorías se llama, J_e , equivalente eléctrico (o mecánico) del calor.

Calorímetro de mezclas

Un dispositivo muy útil para los experimentos de termodinámica es el calorímetro de mezclas, que consiste en un recipiente que contiene un líquido (por lo regular agua), un termómetro y algún otro elemento como un agitador o una resistencia eléctrica. Si por algún método suministramos una cantidad de calor Q al sistema, la temperatura del calorímetro aumentará en ΔT . La relación entre estas cantidades será:

$$\begin{aligned} Q &= (c_{\text{agua}} \cdot m_{\text{agua}} + c_{\text{termom}} \cdot m_{\text{termom}} + c_{\text{xx}} \cdot m_{\text{xx}}) \cdot \Delta T = \\ &= c_{\text{agua}} \cdot \left(m_{\text{agua}} + \left\{ \frac{c_{\text{termom}} \cdot m_{\text{termom}} + c_{\text{xx}} \cdot m_{\text{xx}}}{c_{\text{agua}}} \right\} \right) \cdot \Delta T = \\ &= c_{\text{agua}} \cdot (m_{\text{agua}} + \{M_{\text{eq}}\}) \cdot \Delta T \end{aligned} \quad (1)$$

Aquí, c_{agua} , c_{termo} y c_{xx} son los calores específicos del agua, termómetro y agitador (u otro objeto dentro del calorímetro) respectivamente. Sus masas correspondientes son: m_{agua} , m_{termo} y m_{xx} . Como se ve en la segunda línea de (1), el término entre llaves, es una constante para un dado calorímetro, y como tal puede agruparse todo este término en una sola constante M_{eq} , que se designa como el *equivalente en agua del calorímetro*. M_{eq} tiene un significado físico simple: representa una masa de agua cuya capacidad

calorífica es igual a la del termómetro, recipiente, agitador y todos los demás componentes del calorímetro.

Existen varios métodos de determinar el valor de M_{eq} ; uno de ellos se describe más adelante en este experimento. Un modo simple de obtenerlo consiste en partir de dos volúmenes de agua a distintas temperaturas: una masa de agua m_1 a T_1 (caliente, una decena de grados arriba de la temperatura ambiente, T_{amb}), y otra masa de agua m_2 a T_2 (fría, por ejemplo una decena de grados debajo de T_{amb}), que se supone está en el calorímetro junto a los demás componentes. Una vez medidas las temperaturas T_1 y T_2 , los dos volúmenes de agua se mezclan en el calorímetro, el cual se equilibrará térmicamente a una temperatura T_f . Por conservación de la energía tenemos:

$$Q = c_{agua} \cdot (m_1 + M_{eq}) \cdot (T_f - T_1) = c_{agua} \cdot (m_2) \cdot (T_2 - T_f) \quad (2)$$

de donde:

$$M_{eq} = m_2 \cdot \frac{(T_2 - T_f)}{(T_f - T_1)} - m_1 \quad (3)$$

Dado que el calorímetro no está totalmente aislado del medio, siempre hay intercambio de calor entre el calorímetro y el medio, lo que altera la igualdad (2). Para minimizar los errores sistemáticos introducidos por este intercambio térmico es aconsejable, partir de una docena de grados debajo de la T_{amb} y procurar que la temperatura final (T_f) esté una cantidad similar de grados por arriba de T_{amb} , esto es:

$$T_2 - T_f \approx T_f - T_1 \quad (4)$$

De este modo, parte del calor que el medio entrega al sistema en la primera parte del experimento, es devuelta por el sistema al medio en la segunda parte.

Actividad

Equivalente eléctrico del calor

El principio del experimento consiste en suministrar energía eléctrica a un conductor (resistencia eléctrica) rodeado de agua dentro de un calorímetro, y medir el calor desarrollado en éste. Como la potencia eléctrica entregada a un sistema viene dada por $P=i \cdot V$ (i = corriente [Ampère], V = diferencia de potencial [Volt], P = potencia [Ampère . Volt = Watt = Joule / segundo]), la energía suministrada a la resistencia en un tiempo t_{exp} , será:

$$W_{electrico} = \int_{t=0}^{t_{exp}} i(t) \cdot V(t) \cdot dt \approx i \cdot V \cdot t_{exp} = P_{elc} \cdot t_{exp} \quad (5)$$

si suponemos que i y V son aproximadamente constantes.

Si expresamos la energía eléctrica $W_{el\acute{e}ctrico}$ en Joules podemos deducir el valor requerido para generar una caloría. La cantidad de calorías entregadas al agua se calcula a través de la medición de la variación de temperatura ΔT de la misma y su masa (m_{agua}) por:

$$Q = c_{agua} \cdot (m_{agua} + M_{eq}) \cdot \Delta T. \quad (6)$$

Realización

- Mida la temperatura ambiente T_{amb} . Llene un vaso con agua fría hasta que la lamparita quede totalmente inmersa en el agua (el agua deberá estar aproximadamente a unos 10°C por debajo de la temperatura ambiente). Conecte la fuente de tensión a los terminales de la lamparita y el amperímetro y voltímetro (figura 1), de manera de poder medir la corriente y el voltaje que van a la lamparita simultáneamente. De tener tinta negra, agregue unas gotas al agua, de modo de mejorar la absorción de la luz producida por la lamparita y evitar que algo de la radiación escape del calorímetro.

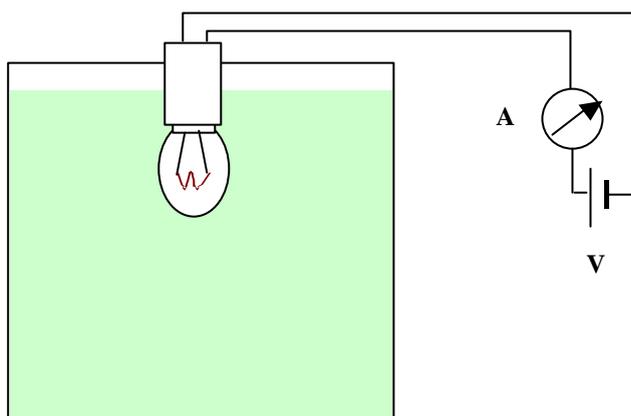


Figura 1. Diagrama del calorímetro para estudiar el equivalente eléctrico del calor.

- Ubique el vaso dentro de uno de los calorímetros y coloque un termómetro en el mismo para medir la temperatura del agua. Revuelva el agua con el termómetro hasta que la temperatura se equilibre (en T_i) por debajo de la temperatura ambiente y encienda la fuente mientras toma el tiempo (t_i). Tome nota de la corriente y tensión. Controle que no varíen demasiado (de lo contrario tome un valor promedio). Cada 2 ó 4 minutos mida el tiempo y la temperatura del calorímetro. Cuando la temperatura sea tal que $T - T_{amb} \approx T_{amb} - T_i$ apague la fuente y anote el tiempo (t_f). Continúe mezclando y lea el termómetro hasta que la temperatura llegue a un máximo (T_f). Repita estas

operaciones manteniendo la lamparita encendida durante distintos intervalos de tiempo $t_{exp} = t_f - t_i$, mientras se aplica la misma potencia eléctrica. Finalmente, represente gráficamente el \mathbf{J} medido para cada intervalo t_{exp} en función de t_{exp} . Según (5) y (6), la pendiente de la recta que obtendría sería:

$$Pendiente(\Delta T \text{ vs. } t) = \frac{P_{elec}}{c_{agua} \cdot (m_{agua} + M_{eq})}. \quad (7)$$

- Determinando esta pendiente (del gráfico) y conociendo m_{agua} y c_{agua} , es posible determinar M_{eq} . Usando este valor, grafique $W_{eléctrico}$ [Joules] versus Q [cal] y $W_{eléctrico}$ versus \mathbf{J} . De estos gráficos obtenga el equivalente eléctrico del calor Je .

Bibliografía

1. *Trabajos prácticos de física*, J. E. Fernández y E. Galloni, Editorial Nigar, Buenos Aires (1968).
2. *Curso superior de física práctica*, B. L. Worsnop y H.T. Flint. Editorial EUDEBA, Buenos Aires (1964); Ooriginal inglesa de ed. Fethuen Co., Ltd. London (1957).