
Termometría

Ley de enfriamiento de Newton



Objetivo

Estudio del enfriamiento y el calentamiento de cuerpos y líquidos. Uso de distintos métodos de medición y análisis de los datos.

Introducción

El tiempo de respuesta de un termómetro es el tiempo característico que tarda en alcanzar la temperatura del medio circundante. Se propone estudiar esta característica para un termómetro de mercurio en vidrio, tanto en aire como en agua, y luego realizar el mismo estudio para un termómetro de estado sólido conectado a una computadora a través de un sistema de toma de datos. Para llevar adelante este experimento se sugiere disponer de dos recipientes, uno con agua caliente y otro con agua fría (agua con hielo).



Actividad 1

Tiempo de respuesta de un termómetro de mercurio. Método convencional

Con el termómetro de mercurio sumergido en agua fría (agua con hielo), esperar hasta que el sistema se equilibre. Cuando esta condición se cumple la temperatura se mantiene constante. Con un cronómetro se procede a realizar mediciones de tiempo y temperatura lo más seguidas posibles (cada 1 o 2 segundos de ser posible). Se retira rápidamente el termómetro del agua fría y con el termómetro en el aire se continúa la toma de datos hasta que el termómetro entra en equilibrio con el medio a la temperatura ambiente. Repita el experimento, pero esta vez usando agua caliente a temperatura cercana a 100 °C. Estudie la variación de temperatura en el tiempo cuando el

termómetro es retirado del agua caliente y dejado en reposo en contacto con el aire a la temperatura ambiente.

- Represente gráficamente sus resultados de temperatura en función del tiempo en escala lineal y semilogarítmica, para ambos procesos (calentamiento y enfriamiento).

- Represente la derivada de la temperatura del termómetro en función de la temperatura del termómetro. ¿Qué puede concluir de sus resultados?. ¿Cómo describe analíticamente la variación de temperatura para el calentamiento y enfriamiento?

- La ley de *enfriamiento de Newton* establece que la rapidez de variación de la temperatura es proporcional a la diferencia de temperatura del cuerpo menos la del medio ambiente, o sea:

$$\frac{dT}{dt} = k \cdot (T_f - T) \quad (1)$$

donde k es una constante de proporcionalidad que depende del cuerpo, el medio y la masa del mismo. T_f es la temperatura del medio ambiente. ¿Cuál es el grado de acuerdo de sus resultados experimentales con esta ley empírica?

Actividad 2

Tiempo de respuesta de un termómetro usando un sistema de toma de datos con PC

Repita el mismo experimento anterior usando un termómetro de estado sólido conectado a una PC. Para esta parte del experimento, realice además el experimento de retirar el termómetro del agua fría e introducirlo en agua caliente y viceversa. Para todos sus ensayos:

- Grafique sus resultados de temperatura versus tiempo en escala lineal y semilogarítmica.
- Grafique la derivada de la temperatura del termómetro versus la temperatura del termómetro.
- ¿Qué puede concluir de sus resultados?. ¿Cómo describe analíticamente la variación de temperatura para el calentamiento y enfriamiento?
- ¿Cuál es el acuerdo entre sus resultados experimentales y la ley de enfriamiento de Newton?
- ¿Qué similitudes y diferencias puede establecer entre lo estudiado en esta parte del experimento y lo que realizó en la primera parte.

Modelo teórico

Un modo de intentar explicar sus resultados, siempre y cuando las diferencias de temperatura no sean grandes y la radiación no sea importante, es suponer que entre el

termómetro y el medio circundante existe una delgada capa de separación entre el termómetro, que está a una temperatura T , y el medio, que está a una temperatura T_f . Llamemos h al “coeficiente de transferencia de calor” de esta capa^[2] y designamos con A su área efectiva. Si el bulbo del termómetro tiene una masa m y calor específico c , entonces, en un dado intervalo de tiempo dt , el cambio de temperatura dT (del termómetro) será:

$$h \cdot A \cdot (T_f - T) = m \cdot c \cdot dt \quad (2)$$

definiendo $\mathbf{t} = \frac{m \cdot c}{h \cdot A}$, tenemos:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{(T_f - T)}{\mathbf{t}} \quad (3)$$

de donde, por integración, obtenemos:

$$T(t) = T_f - (T_f - T_0) \cdot e^{-t/\mathbf{t}}. \quad (4)$$

T_f es la temperatura del medio y T_0 la temperatura inicial del termómetro.

Para el caso del termómetro de mercurio, trate de estimar m y A haciendo suposiciones razonables. El valor de c para el Hg es (a 25°C) 139.4 J/(kg.K) y su densidad es 1.355×10^{-4} Kg/m³. Los valores aproximados de h son: para el aire quieto 10 W/(m²K) y para el agua en reposo 750 W/(m²K). También resulta útil definir la resistencia térmica del termómetro (o sistema de interés) como $R_t = 1/(h \cdot A)$ y la capacitancia térmica $C_t = m \cdot c$. Con estas definiciones la constante de tiempo del sistema, \mathbf{t} , puede escribirse como: $\mathbf{t} = C_t \cdot R_t$. De este modo, R_t es una propiedad asociada al medio y C_t al termómetro.

Usando este modelo, trate de describir los resultados obtenidos. ¿Es este modelo una descripción aceptable de sus mediciones?. Justifique sus conclusiones.

- Para sus termómetros, determine el tiempo característico de respuesta, por ejemplo, el tiempo mínimo para que llegue al 99% de la temperatura del medio en que se encuentra.

Ley de enfriamiento

En las propuestas anteriores, estudiamos la respuesta de los termómetros, pero bien podríamos estar interesados en conocer la respuesta térmica de algún material de interés para cierta aplicación (metal, plástico, madera, un líquido). Cuando el cuerpo a una temperatura T_0 en el instante $t=0$ se ponga de repente en contacto térmico con un medio de temperatura T_{medio} , no cambiará de temperatura en forma instantánea, sino que llegará al equilibrio térmico con el medio en forma paulatina. El objeto de este proyecto consiste en estudiar la forma en que un dado cuerpo llega al equilibrio con su medio.

Para la realización de estos experimentos se propone usar un termómetro conectado a un sistema de toma de datos por computadora, para así poder seguir la evolución térmica del cuerpo en función del tiempo con mayor facilidad. Una posibilidad es disponer de dos recipientes, uno con agua fría y otro con agua caliente (dos medio a distintas temperaturas). El termómetro deberá estar bien adherido al cuerpo de modo tal que ambos estén íntimamente en contacto y que el agua del medio no llegue en forma directa al termómetro. Un modo de lograr esto es preparar el cuerpo de manera que pueda contener al termómetro. Puede hacerse al cuerpo un orificio de diámetro muy parecido al del termómetro, donde éste ajuste muy bien y sellarlo muy bien con alguna grasa o adherente sintético.

El procedimiento consiste en colocar el cuerpo con el termómetro en el recipiente caliente e iniciar el registro de la temperatura, hasta que el sistema esté en equilibrio térmico con su medio. En el equilibrio la temperatura no variará o lo hará muy lentamente. Cuando esto ocurre, se retira el cuerpo con el termómetro, se los introduce en el agua fría y se continúa la adquisición de datos. La toma de datos continúa hasta que se logra de nuevo una situación de equilibrio térmico. Una vez

logrado este segundo equilibrio, se sumerge el sistema en el recipiente caliente y se continúa la toma de datos hasta lograr un nuevo equilibrio.

- Grafique la dependencia de la temperatura en función del tiempo para los dos procesos estudiados (enfriamiento y calentamiento). ¿Qué ley siguen estos dos procesos?
- ¿Cómo se comparan sus observaciones con τ que esperaría a partir de la ley de enfriamiento de Newton?

Compare el tiempo de respuesta del cuerpo con el del termómetro. Si el tiempo de respuesta del termómetro fuese mucho menor que el del cuerpo, el resultado del experimento representaría bien las características del enfriamiento del cuerpo. Sin embargo, si los tiempos son comparables, o si el tiempo de respuesta del termómetro es mayor al del cuerpo el efecto de la presencia del termómetro deberá incluirse explícitamente en el análisis.



Bibliografía

1. *Trabajos prácticos de física*, J. E. Fernández y E. Galloni, Editorial Nigar, Buenos Aires (1968).
2. *Response time of a thermometer*, V. Thomsen, *Phys. Teacher* **36**, 540 (1998).