

Conducción del calor

MEDICIÓN DE LA CONDUCCIÓN DEL CALOR EN BARRAS METÁLICAS

- Medición del curso de la temperatura a lo largo de barras metálicas calentadas y enfriadas unilateralmente, en estado no estacionario y en estado estacionario.
- Medición de la corriente de calor en el estado estacionario.
- Determinación de la conductividad calorífica del material de la barra.

UE2020100

02/25 UD

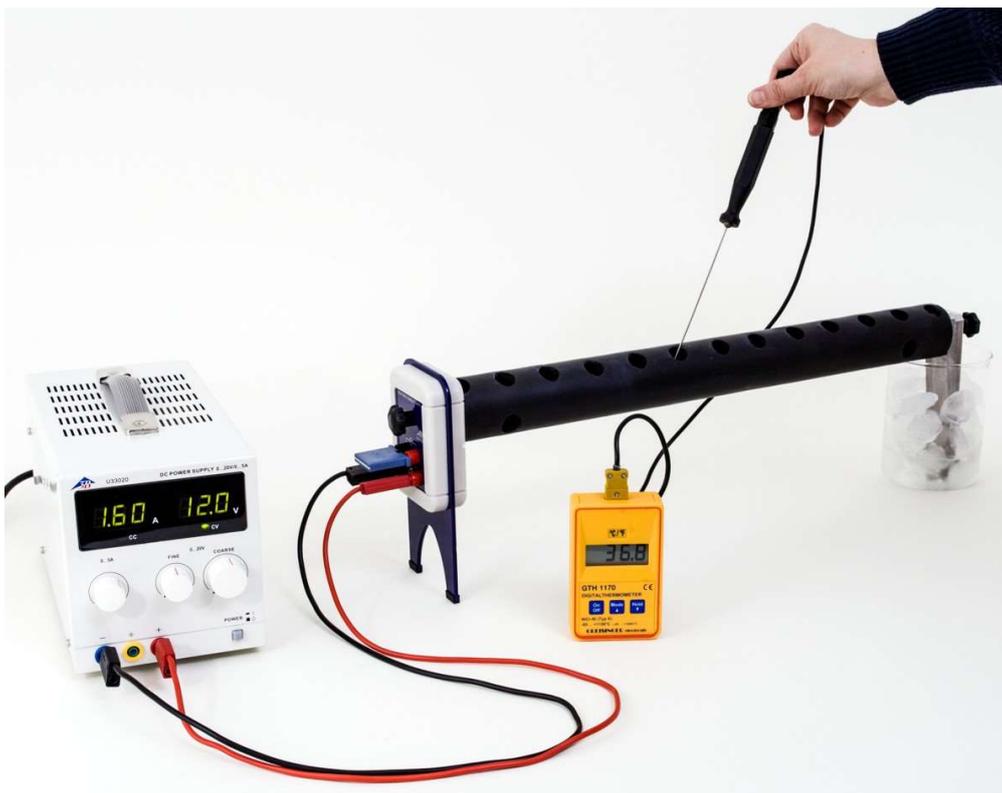


Fig. 1: Disposición de medición

FUNDAMENTOS GENERALES

El calor puede ser transmitido por medio de conducción, radiación o convección desde una región más caliente hacia una más fría. En el caso de la conducción de calor, el transporte de energía tiene lugar por medio de la interacción entre átomos o moléculas vecinas sin que tenga lugar transporte de las mismas. En el calentamiento, p. ej. de una barra metálica, los átomos en el extremo más caliente

oscilan más intensamente, es decir, con más energía que en el extremo frío. La energía es entregada por medio de choques entre los átomos vecinos y conducida a través de la barra hacia el lado más frío. Metales son especialmente buenos conductores, porque se agregan además los choques entre los electrones libres y los átomos.

En una barra con una sección de área A , cuyos extremos se mantienen a temperaturas diferentes, se establece después de un tiempo un gradiente de temperatura a lo largo de la barra, así que la temperatura T decrece uniformemente hacia el extremo más frío, fluyendo en un tiempo dt una cantidad de calor dQ a través de la sección de la barra y se establece una corriente de calor constante P_Q :

$$(1) P_Q = \frac{dQ}{dt} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

P_Q : Corriente de calor (medida en Watt)

A : Área de la sección de la barra

λ : Capacidad calorífica del material de la barra

T : Temperatura

x : Coordinada espacial a lo largo de la barra

Antes de que se haya llegado al gradiente constante de temperatura, la barra tiene en el tiempo t una distribución de temperatura $T(x,t)$ la cual se acerca poco a poco al estado estacionario. Es válida la ecuación diferencial:

$$(2) \lambda \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}(x,t) - c \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial t}(x,t) = 0,$$

c : Calor específico

ρ : Densidad del material de la barra

En el caso estacionario, en concordancia con la ecuación (1)

$$(3) \frac{\partial T}{\partial t}(x,t) = 0 \text{ y } \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x}(x,t) = \text{const.} = \frac{P_Q}{A}.$$

En el experimento se calienta eléctricamente la barra en un extremo. Una fuente de calor con regulación electrónica alimenta la barra de conducción calorífica con una corriente de calor que se puede determinar como potencia eléctrica

$$(4) P_{el} = U \cdot I$$

midiendo la tensión de caleo U y la corriente correspondiente I . La regulación electrónica de la corriente hace posible que el extremo de la barra llegue rápidamente hasta una temperatura de 90° C, la cual luego se mantiene constante.

Por medio de las láminas de enfriamiento, el calor en el otro extremo de la barra se elimina en agua de hielo o simplemente en agua corriente a temperatura ambiente. La potencia calorífica eliminada se puede determinar por mediciones calorimétricas.

Una camisa de aislamiento térmico reduce la entrega de calor de la barra de conducción de calor hacia el medio ambiente y mejora la linealidad del perfil térmico en el estado estacionario. Con un termómetro electrónico de rapidez secundaria se miden las temperaturas en los puntos de medición previstos a lo largo de la barra. Se tienen a disposición, una barra de cobre y una de aluminio.

LISTA DE APARATOS

| | | |
|---|---|---------|
| 1 | Juego de aparatos: Conducción de calor | 1017329 |
| 1 | Barra conductora del calor - Aluminio | 1017331 |
| 1 | Barra conductora del calor - Cobre | 1017330 |
| 1 | Fuente de alimentación CC, 0 – 20 V, 0 – 5 A @230 V | 1003312 |
| o | | |
| 1 | Fuente de alimentación CC, 0 – 20 V, 0 – 5 A @115 V | 1003311 |
| 1 | Termómetro digital instantáneo de bolsillo | 1023780 |
| 1 | Sensor sumergible de NiCr-Ni, tipo K, -65 – 550°C | 1002804 |

| | | |
|-------------------------------|---|---------|
| 1 | Cables experimental de seguridad, 75cm, azul, rojo (2 uds.) | 1017718 |
| 1 | Vaso de precipitados de forma baja 500 ml | 1025691 |
| Se recomienda adicionalmente: | | |
| 2 | Multímetros digitales P1035 | 1002781 |
| | Agua helada | |

MONTAJE Y REALIZACIÓN

Observación:

El experimento se realiza tomando como ejemplo la barra conductora de calor de aluminio.

- La barra conductora de calor se limpia en sus secciones de corte y las secciones se untan de una capa muy delgada de pasta conductora de calor.
- El módulo calorífico se atornilla en la barra conductora de calor por medio de tornillos de fijación; la barra se orienta de tal forma que las perforaciones (puntos de medición de la temperatura) muestren todas hacia arriba.
- La camisa termoaislante se desliza sobre la barra conductora de calor y y las escotaduras de la camisa termoaislante de gomaespuma se ajustan sobre los puntos de medición de la temperatura.
- El par de laminillas al extremo de la barra se atornillan flojamente con el tornillo de fijación, se orientan en el recipiente de refrigeración (vaso de precipitados) y lu-ego se aprieta el tornillo.
- El vaso de precipitados se llena de agua de hielo y si es necesario se renueva en el curso del experimento.
- Para el suministro de corriente se conecta la fuente de alimentación de CC por medio de los caquillos de conexión, teniendo necesariamente cuidado de la polaridad: Rojo = Polo positivo. El segundo par de casquillos se puentea por medio de una clavija de cortocircuito.
- Para la medición de la corriente de caleo, en lugar de la clavija de cortocircuito se conecta un amperímetro en el par de casquillos de arriba.
- Para una determinación lo más exacta posible de la potencia eléctrica acogida (el producto de la tensión y la corriente de caldo) la tensión de caleo se mide directamente en el módulo calorífico por medio del par de casquillos de abajo y no se lee en el aparato de suministro de corriente.
- La temperatura se mide con un termómetro electrónico (sensor de rapidez secundaria y termopar) en lo posible, en intervalos de tiempo lo más iguales posible, en los puntos de medición de 1 a 13 (Tab 1), a lo largo de la barra conductora de calor. Para ello, se introduce una pequeña cantidad de pasta conductora de calor en los puntos de medición.
- Se realizan varias series de medición p. ej. en un intervalo de tiempo de 150 s hasta lograr el estado estacionario (Tab. 1).

EJEMPLO DE MEDICIÓN

Tensión de caldeo U : 12 V
 Corriente de caldeo I : 1,6 A

Tab. 1: Puntos de medición N , Distancias entre los puntos de medición x y temperaturas T en los puntos de medición para cinco diferentes series de mediciones con un intervalo de tiempo de 150 s

| N | x / cm | $T / ^\circ\text{C}$ | | | | |
|-----|-----------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | $t = 0 \text{ s}$ | $t = 150 \text{ s}$ | $t = 300 \text{ s}$ | $t = 350 \text{ s}$ | $t = 400 \text{ s}$ |
| 1 | 1 | 88,7 | 88,8 | 90,0 | 90,0 | 90,6 |
| 2 | 5 | 74,0 | 78,3 | 81,0 | 82,0 | 84,5 |
| 3 | 9 | 63,6 | 68,9 | 72,0 | 75,0 | 78,4 |
| 4 | 13 | 55,3 | 61,1 | 64,1 | 68,0 | 72,0 |
| 5 | 17 | 48,8 | 54,6 | 57,8 | 62,0 | 66,6 |
| 6 | 21 | 43,9 | 49,1 | 52,2 | 55,9 | 61,3 |
| 7 | 25 | 39,6 | 44,0 | 46,8 | 51,0 | 56,1 |
| 8 | 29 | 36,2 | 39,9 | 42,3 | 46,5 | 50,9 |
| 9 | 33 | 33,5 | 36,6 | 38,9 | 41,9 | 46,3 |
| 10 | 37 | 31,5 | 34,4 | 36,0 | 38,0 | 41,7 |
| 11 | 41 | 29,6 | 32,1 | 33,6 | 35,2 | 37,4 |
| 12 | 45 | 28,8 | 30,3 | 31,8 | 32,0 | 32,9 |
| 13 | 49 | 27,6 | 28,8 | 29,8 | 28,3 | 29,1 |

EVALUACIÓN

- Se representan gráficamente las series de mediciones de la Tab. 1 en un diagrama $T(N)$ (Fig. 2).

Los puntos de medida se acercan con el tiempo a un curso lineal, el cual refleja el logro del estado estacionario.

- Las temperaturas de la serie de mediciones para $t = 400 \text{ s}$ de la Tab. 1 se convierten en Kelvin de acuerdo con

$$(5) \quad K = ^\circ\text{C} + 273,15 = \frac{(^{\circ}\text{F} + 459,67)}{1,8}$$

y se representan gráficamente en dependencia con la distancia x y se adapta una recta entre los puntos de medida (Fig. 3).

Para la pendiente de la recta k se obtiene:

$$(6) \quad k = -1,28 \frac{\text{K}}{\text{cm}}$$

La pendiente k de la recta corresponde al gradiente de temperatura en la ecuación (1):

$$(7) \quad k = \frac{dT}{dx} = -\frac{P_Q}{\lambda \cdot A}$$

Primero, bajo la suposición simplificada de que la corriente calorífica P_Q corresponde a la potencia eléctrica P_{el} , determina la conductividad calorífica λ . De (7) se obtiene:

$$(8) \quad \lambda = -\frac{P_Q}{k \cdot A} \approx -\frac{P_{el}}{k \cdot A} = -\frac{12 \text{ V} \cdot 1,6 \text{ A}}{-1,28 \frac{\text{K}}{\text{cm}} \cdot 490 \cdot \text{mm}^2} = 306 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

El valor determinado a partir de la medición difiere en aprox. 30% con respecto al valor bibliográfico $\lambda = 236 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

De hecho, la corriente calorífica P_Q corresponden a la potencia eléctrica P_{el} , restándole una pérdida de potencia P_I :

$$(9) \quad P_Q = P_{el} - P_I$$

Es decir que:

$$(10) \quad \lambda = -\frac{P_{el} - P_I}{k \cdot A} \Leftrightarrow P_I = P_{el} + k \cdot \lambda \cdot A$$

Para la pérdida de potencia se obtiene, con el valor bibliográfico $\lambda = 236 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$:

$$(11) \quad P_I = 12 \text{ V} \cdot 1,6 \text{ A} - 1,28 \frac{\text{K}}{\text{cm}} \cdot 236 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 490 \text{ mm}^2 = 4,4 \text{ W}$$

Observación para la medición de la corriente calorífica en estado estacionario:

Si en lugar del agua de hielo en un vaso de precipitados, se utiliza agua a temperatura ambiente en un recipiente suficientemente aislado térmicamente, la corriente calorífica P_Q se puede determinar calorimetricamente midiendo la cantidad de calor dQ entregada al agua en un tiempo dt :

$$(12) \quad P_Q = \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt} \{ c_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot dT \} = c_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot \frac{dT}{dt}$$

c_{H_2O} : Capacidad calorífica específica del agua
 m_{H_2O} : Masa del agua
 dT/dt : Aumento de la temperatura del agua en el tiempo dt

El aumento de la temperatura del agua en un tiempo determinado se puede medir directamente. La conductividad calorífica λ teniendo en cuenta la pérdida de potencia, resulta directamente de la ecuación (7) con la pendiente k de la recta de (6).

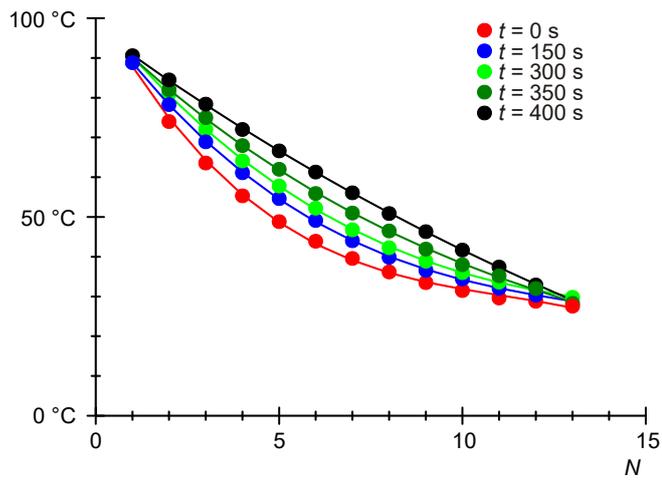


Fig. 2: Temperaturas a lo largo de la barra de aluminio con intervalos temporales de 150 s

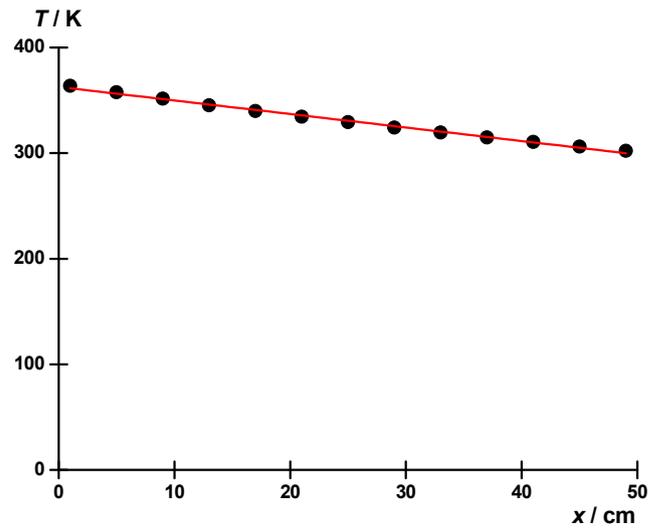


Fig. 3: Temperatura T en dependencia con la distancia x de los puntos de medición en estado estacionario