

# Equivalente mecánico del calor



Física

Termodinámica / Termodinámica

Energía térmica

ciencia aplicada

Ingeniería

Energías renovables

Principios básicos

ciencia aplicada

Ingeniería

Fotónica

Principios básicos



Nivel de dificultad



Tamaño del grupo



Tiempo de preparación



Tiempo de ejecución

fácil

1

10 minutos

10 minutos

This content can also be found online at:

<http://localhost:1337/c/606a6b9dc4022300031478b9>

PHYWE



## Información para el profesor

### Aplicación

PHYWE



Fig.1: Montaje experimental

La comprensión del equivalente mecánico del calor es fundamentalmente importante para la industria energética, ya que el calentamiento de los gases y el uso de su equivalente mecánico del calor se utilizan para producir electricidad.

Este experimento puede servir para obtener una primera comprensión.

## Información adicional para el profesor (1/2)

PHYWE



### Conocimiento

#### previo



### Principio

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

En este experimento, un cuerpo metálico de prueba se hace girar y se calienta por la fricción debida a una banda tensada de material sintético. El equivalente mecánico del calor para el problema 1 se determina a partir del trabajo mecánico definido y del incremento de energía térmica deducido del aumento de la temperatura. Suponiendo la equivalencia del trabajo mecánico y del calor, se determina la capacidad térmica específica del aluminio y del latón.

## Información adicional para el profesor (2/2)

PHYWE



### Objetivo

El objetivo de este experimento es investigar el equivalente mecánico del calor.



### Tareas

1. Determinación del equivalente mecánico del calor.
2. Determinación de la capacidad térmica específica del aluminio y del latón.

## Principio (1/3)

PHYWE

Durante mucho tiempo se debatió si el calor de un sistema, que solía definirse en función de su temperatura, era una forma de energía o una magnitud independiente que se conserva. En la primera mitad del siglo XIX se demostró que la energía mecánica debida a la fricción se convierte completamente en calor, independientemente del curso del proceso de transformación y de las características físicas y químicas del material utilizado. En consecuencia, el calor se definió como la energía de los movimientos moleculares desorganizados y macroscópicamente invisibles.

El cociente entre el trabajo mecánico realizado  $\Delta W$  y la cantidad de calor  $\Delta E$  generado por la fricción se denomina equivalente mecánico del calor. En este experimento, el trabajo mecánico se realiza girando el cilindro de fricción contra la fuerza de fricción de deslizamiento  $F_R$  de la banda de fricción sintética. Dado que el peso  $M$  (véase la figura 2) no se acelera al girar la manivela, el peso  $F_G = Mg = 49$  N ( $M$ : masa del peso,  $g$ : aceleración gravitatoria terrestre) por un lado y la fuerza de rozamiento por deslizamiento  $F_R$  actuando conjuntamente con la fuerza  $F_D$  en la suspensión del dinamómetro del otro lado, deben anularse mutuamente:

$$F_R = F_G - F_D \quad (1)$$

## Principio (2/3)

PHYWE

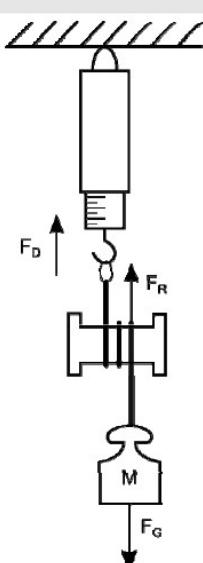


Fig. 2: Equilibrio de fuerzas al girar el cilindro de fricción.

Trabajo de fricción  $W$  se determina así a partir de la trayectoria de fricción de  $2\pi r n$  ( $r$ : radio del cilindro,  $n$ : número de vueltas) y se encuentra:

$$W = 2\pi r n F_R = 2\pi r n (F_G - F_D) \quad (2)$$

Mientras la banda sintética se desliza sobre el cilindro, una gran parte del trabajo mecánico se convierte en energía térmica  $\Delta Q$  mediante deformaciones inelásticas del material de fricción. En consecuencia, la temperatura  $T$  del cilindro de fricción aumenta por una diferencia de temperatura  $\Delta T$ :

$$\Delta Q = C_{\text{tot}} \cdot \Delta T \quad (3)$$

## Principio (3/3)

PHYWE

$C_{tot}$  es la capacidad térmica total de las piezas calentadas. Es la suma de la capacidad térmica  $C_{cyl}$  del cilindro de fricción (m masa, capacidad térmica específica (CuZn:  $c = 0,385 \text{ J/gK}$ )):

$$C_{cyl} = c \cdot m(4)$$

De la capacidad térmica de la banda de fricción ( $C_{band} = 4 \text{ J/K}$ ) y de la capacidad térmica del termómetro ( $C_{th} = 4 \text{ J/K}$ ). Si la masa del cilindro de fricción es  $m = 640 \text{ g}$ , la capacidad térmica total asciende a:

$$C_{tot} = C_{cyl} + C_{band} + C_{th} = 254 \text{ J/K}(5)$$

## Material

Posición	Material	Artículo No.	Cantidad
1	Aparato para Equivalente mecánico del calor	04440-00	1
2	Cilindro de fricción CuZn, 1,28 kg	04441-02	1
3	Cilindro de fricción Al, 0,39 kg	04441-03	1
4	Varilla de acero inoxidable, 18/8, 250 mm	02031-00	1
5	Doble nuez	02054-00	1
6	DINAMOMETRO, TRANSP., 10 N	03065-05	1
7	DINAMOMETRO, TRANSP., 100 N	03065-07	1
8	CRONOMETRO DIGITAL, 24 h, 1/100 s y 1 s	24025-00	1
9	Pinza para mesa Expert	02011-00	1
10	Pinza universal con articulación	37716-00	1
11	Pesa comercial, 1000 g	44096-70	1
12	Pesa comercial, 2000 g	44096-78	1
13	BALANZA PORTATIL, OHAUS CR5200	48915-00	1



## Montaje y ejecución

### Montaje

El montaje experimental se muestra en la Fig. 1. Para empezar, el cilindro de fricción y la manivela se deben fijar al cojinete giratorio y la placa base se sujeta muy firmemente a la mesa con las abrazaderas de tornillo. Si no se hace así, la placa base puede inclinarse durante el arranque, lo que a su vez puede provocar la rotura del termómetro introducido en el orificio. La banda de fricción fijada al dinamómetro se debe colocar 2,5 veces alrededor del cilindro de fricción (para que el dinamómetro se alivie al girar la manivela en el sentido de las agujas del reloj). El peso de 2 kg se fija en el extremo inferior de la banda de fricción. Para medir la temperatura, se sujeta el termómetro con una pinza universal y se introduce cuidadosamente en el orificio del cilindro de fricción. El termómetro y el orificio del cilindro deben estar cuidadosamente alineados, para que el termómetro no se dañe mientras el cilindro gira. Para mejorar el contacto térmico, el orificio se rellena con pasta conductora del calor. Pesa los cilindros de fricción al principio del experimento.

## Ejecución

PHYWE

Al principio de la medición, se registrara la temperatura cada treinta segundos durante cuatro minutos. A continuación, se gira la manivela un determinado número de veces (por ejemplo, 200 veces) con la mayor rapidez y regularidad posibles. Simultáneamente, la fuerza  $F_D$  que actúa sobre la suspensión se determina con el dinamómetro. Posteriormente, anotar el descenso continuo de la temperatura a intervalos de treinta segundos.

La segunda parte del experimento se realiza de forma similar, para medir la capacidad térmica de un cilindro de aluminio y la de un cilindro de latón cuya masa es el doble de la del cilindro de aluminio. Antes de comenzar el experimento, el cilindro de fricción y la banda de fricción deben limpiarse con un paño seco para librarse del polvo metálico de abrasión. Cuando se utiliza el cilindro de aluminio, la fricción no debe superar los 10 N, (para ello se utiliza el peso de 1 kg), con el fin de evitar una fuerte abrasión y ensuciamiento de la banda de fricción. La capacidad térmica específica del cilindro se calcula a partir del número de giros del cigüeñal  $n$ , la fuerza media en el dinamómetro  $F_D$  y el aumento de la temperatura  $\Delta T$ .

PHYWE



## Resultados

8/11

## Resultados (1/6)

Se han despreciado las capacidades térmicas del cojinete aislado y de la pasta conductora del calor. La Fig. 3 muestra un diagrama temperatura-tiempo para un ejemplo de medición. La forma del gráfico deja claro que la energía térmica se desprende continuamente del entorno mientras la manivela gira. Por lo tanto, la diferencia de temperatura  $\Delta T$  se determina como se hace generalmente para la determinación del calor específico: la compensación de la temperatura momentánea se extrae mediante la prolongación de las dos ramas de la gráfica recta. Si se traza una línea paralela al eje de la temperatura de forma que dos superficies iguales  $A_1$  y  $A_2$  se forman, la diferencia de las ordenadas de los puntos de intersección de las dos rectas es la diferencia de temperatura  $\Delta T$  buscado.

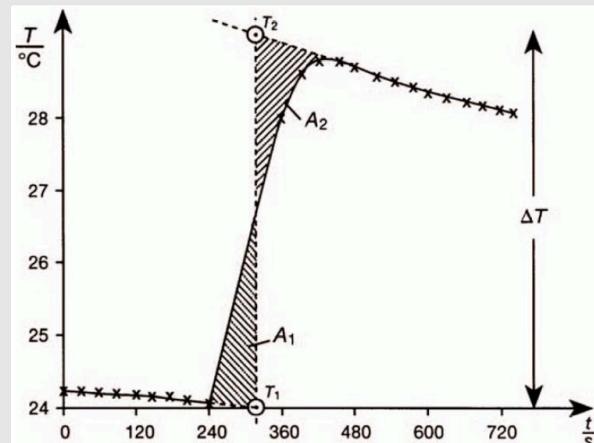


Fig. 3: Diagrama temperatura-tiempo para un ejemplo de medición.

## Resultados (2/6)

El cilindro se enfriá principalmente por convección. En este caso podemos utilizar la ley de enfriamiento de Newton como una buena aproximación: "La tasa de pérdida de calor de un cuerpo es proporcional a la diferencia de temperaturas entre el cuerpo y sus alrededores".

En esta aproximación, la diferencia de temperatura de la Fig. 3 corresponde a la tasa de pérdida de calor (primera derivada de la cantidad total de calor). La integral de la diferencia de temperatura es, por tanto, igual a la cantidad total de calor perdido, que corresponde gráficamente al área confinada bajo la curva de temperatura de la Fig. 3.

En la Fig. 3 hay dos curvas. La primera (experimento real) corresponde al trabajo mecánico transferido lentamente en calor. La segunda curva (experimento imaginario) muestra la transferencia instantánea. En ambos experimentos el cilindro tiene la misma cantidad de calor al principio del experimento y después del calentamiento debido a la fricción. El trabajo mecánico es el mismo en ambas curvas. Por tanto, la cantidad de calor perdido (área bajo las curvas) debido a la convección debe ser la misma para ambas curvas. Esto sólo es posible si  $A_1 = A_2$  que define de forma única la posición de la línea vertical (proceso instantáneo) en la Fig. 3.

## Resultados (3/6)

PHYWE

El proceso de enfriamiento exponencial puede aproximarse con líneas rectas para intervalos de tiempo cortos.

En el caso de un ejemplo de medición donde la carga residual en el dinamómetro es  $F_D = 3$  N, el trabajo después de 200 rotaciones del cilindro de fricción asciende a:

$$\Delta W = 1301 \text{ J}$$

Según la ecuación (3), el aumento de temperatura resultante del cilindro de fricción,  $\Delta T = 5,1$  K, produce la siguiente cantidad de energía térmica:

$$\Delta Q = 1296 \text{ J}$$

Si se calcula el equivalente de calor mecánico, el cociente (1,003) equivale a 1 dentro de los límites del error de medición. Como el calor es una forma de energía, la cantidad total de energía mecánica debe transformarse en una cantidad igual de energía térmica, según la ley de conservación de la energía. De hecho, el equivalente mecánico del calor debe ascender, por tanto, a:

## Resultados (4/6)

PHYWE

$$\frac{\Delta W}{\Delta Q} = 1(6)$$

Experimentos similares, en los que la energía eléctrica se convierte en energía térmica, muestran que el equivalente eléctrico correspondiente del calor  $\Delta W_{el}/Q$  también asciende a 1. Estos resultados se resumen ampliamente en la primera ley de la termodinámica.

El cambio de energía interna  $\Delta U$  de un sistema es igual a la cantidad de energía térmica  $\Delta Q$  y a la cantidad de trabajo  $\Delta W$  suministrado desde el exterior, independientemente del procedimiento de suministro:

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W(7)$$

Si, a la inversa, se asume la ecuación 6 ( $\Delta W = \Delta Q$ ), se puede determinar la capacidad térmica específica con este equipo. Si se transforman las ecuaciones 3 y 5 en función de la capacidad térmica del cilindro de fricción, se obtiene el siguiente resultado:

## Resultados (5/6)



$$C = \frac{\Delta W}{\Delta T} - 8 \frac{J}{gK} \quad (8)$$

La capacidad térmica específica, definida como el cociente entre la capacidad térmica de un cuerpo  $C$  y su masa:

$$c = C/m \quad (9)$$

Es una constante del material, que a temperaturas ambiente normales y presión atmosférica depende muy poco de la temperatura absoluta. De la ecuación 9 se desprende que la capacidad térmica de un material homogéneo es estrictamente proporcional a su masa.

## Resultados (6/6)



Un ejemplo de medición con carga en reposo  $F = 4$  N en el dinamómetro, 200 vueltas de manivela y un aumento de temperatura de  $\Delta T = 2,5$  K se obtiene una capacidad térmica de

$$C = 501 \text{ J/gK}$$

para un cilindro de latón de 1280 g. (que en realidad es aproximadamente el doble de la capacidad térmica de un cilindro de la mitad de peso (247 J / gK)). La capacidad térmica específica calculada con la ecuación 9 es:

$$C_{\text{brass}} = 0.392 \text{ J/gK}$$

La medición del cilindro de aluminio arrojó el siguiente valor:

$$c_{\text{al}} = 0.870 \text{ J/gK}$$

en comparación con el valor teórico  $c_{\text{al}} = 0.902 \text{ J/gK}$  para la capacidad térmica específica del aluminio a temperatura ambiente.