

# Laboratorio di Fisica 1

## R6: Misura dei calori specifici di materiali ignoti

Gruppo 17: Bergamaschi Riccardo, Graiani Elia, Moglia Simone

6/12/2023 – 13/12/2023

### Sommario

Il gruppo di lavoro ha misurato il calore specifico di tre solidi distinti per risalirne alla natura; a questo fine, è stato necessario determinare le caratteristiche termiche del calorimetro (capacità termica e conducibilità).

## 0 Materiali e strumenti di misura utilizzati

| Strumento di misura     | Soglia                          | Portata    | Sensibilità |
|-------------------------|---------------------------------|------------|-------------|
| Termometro digitale     | 0.1 °C                          | N./A.      | 0.1 °C      |
| Cronometro              | 0.5 s                           | N./A.      | 0.5 s       |
| Barometro               | 1 hPa?                          | 14 000 hPa | 1 hPa       |
| Cilindro graduato       | 1 mL                            | 100 mL     | 1 mL        |
| Bilancia di precisione  | 0.01 g                          | 4100.00 g  | 0.01 g      |
| Altro                   | Descrizione/Note                |            |             |
| Calorimetro             | Quasi adiabatico.               |            |             |
| Fornelletto e pentolino | Per scaldare acqua e campioni.  |            |             |
| Tre campioni solidi     | Li chiameremo $A$ , $B$ e $C$ . |            |             |

## 1 Misurazione della massa equivalente

Il calorimetro, per quanto isolante termicamente, comunque non è completamente adiabatico. Pertanto, prima di procedere con la misura indiretta dei calori specifici dei campioni di materiale ignoto, è necessario ottenere una stima della capacità termica del calorimetro  $C_{\text{cal}}$ .

Per semplificare i calcoli, abbiamo definito “massa (d’acqua) equivalente (in senso termico) al calorimetro” come la quantità:

$$m_{\text{eq}} := \frac{C_{\text{cal}}}{c_{\text{H}_2\text{O}}}$$

**Osservazione.** La massa equivalente ci dà anche un'idea di quanto il calorimetro disturbi le misure.

## 1.1 Esperienza e procedimento di misura

1. Misuriamo, mediante la bilancia di precisione, la massa del calorimetro vuoto (coperchio compreso):  $m_{\text{cal}} = (781.91 \pm 0.01) \text{ g}$
2. Versiamo, aiutandoci col cilindro graduato, circa 100 mL di acqua distillata ( $c_{\text{H}_2\text{O}} = 4186 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ) a temperatura ambiente  $T_{\text{amb}}$  nel calorimetro. Per avere una stima più accurata di questa quantità di acqua, misuriamo la massa complessiva del calorimetro dopo questa operazione. In questo modo, otteniamo indirettamente la massa d'acqua "fredda":  $m_{\text{fredda}} = (99.35 \pm 0.02) \text{ g}$
3. Scaldiamo nel pentolino altri 100 mL, circa, di acqua distillata, fino al punto di ebollizione  $T_{\text{eb}}$ .
4. Inserito nel calorimetro il termometro digitale, avviamo l'acquisizione dati (a intervalli di 0.5 s). Riapriamo poi il calorimetro e vi versiamo all'interno, velocemente, l'acqua calda. Infine, richiudiamo il coperchio.
5. Dopo una decina di minuti, interrompiamo l'acquisizione, estraiamo il termometro e misuriamo nuovamente la massa del sistema. In questo modo, per differenza, otteniamo la massa dell'acqua calda che avevamo versato nel calorimetro<sup>1</sup>:  $m_{\text{calda}} = (85.12 \pm 0.03) \text{ g}$

**Osservazione.** È meglio che i due volumi d'acqua siano molto simili e che la loro somma sia pressoché pari al volume che utilizzeremo nella seconda parte dell'esperimento, in modo che il calorimetro si bagni allo stesso modo.

## 1.2 Analisi dei dati raccolti e conclusioni

Detta  $T_{\text{eq}}$  la temperatura di equilibrio del sistema, vale:

$$m_{\text{calda}}(T_{\text{eb}} - T_{\text{eq}}) = (m_{\text{fredda}} + m_{\text{eq}})(T_{\text{eq}} - T_{\text{amb}})$$

da cui:

$$m_{\text{eq}} = \frac{T_{\text{eb}} - T_{\text{eq}}}{T_{\text{eq}} - T_{\text{amb}}} m_{\text{calda}} - m_{\text{fredda}}$$

Di seguito riportiamo, in un grafico, i dati raccolti dal termometro digitale.

---

<sup>1</sup>Si noti che questa massa è minore di quella che avevamo versato nel pentolino, poiché una parte dell'acqua è evaporata. Misurare la massa alla fine dell'esperimento, per differenza, ci permette di non doverne tener conto successivamente. Possiamo infatti considerare il calorimetro come un sistema chiuso: finché non lo apriamo, la massa complessiva non cambia.

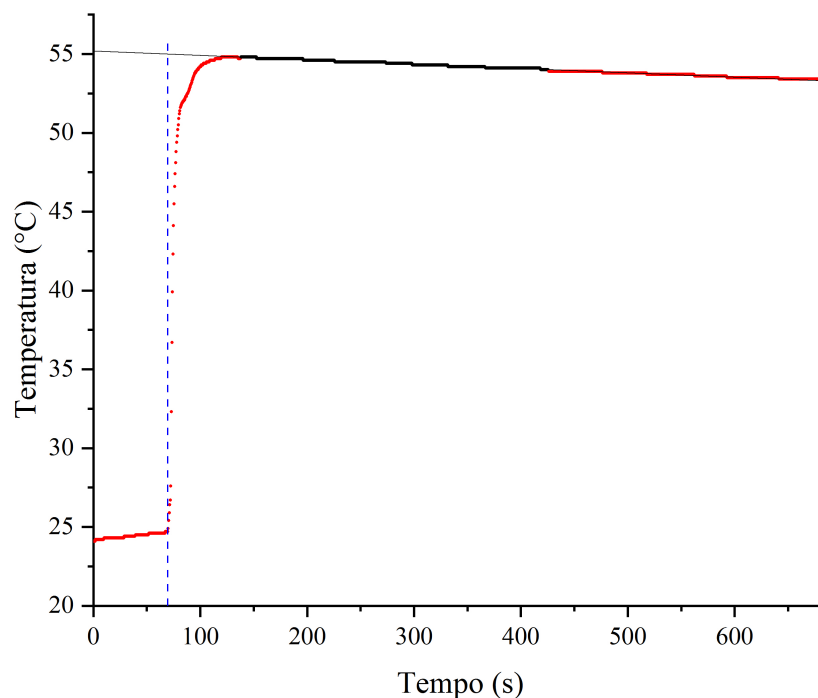


Figura 1: I dati raccolti col termometro. In nero, appena visibile, una retta di regressione sull'intervallo di dati indicato in nero. In blu, l'istante di tempo nel quale abbiamo inserito l'acqua calda. L'ordinata del punto di intersezione fra le due rette è la temperatura di equilibrio.

Eseguendo una regressione lineare sui dati raccolti dal termometro digitale, rappresentati nel seguente grafico, abbiamo trovato che  $T_{\text{eq}} = 55.0^\circ\text{C}$ . Dunque: ovvero  $m_{\text{equiv}} = (24.61116505 \pm 3)\text{g}$ ?. Ora che abbiamo ottenuto questo valore, possiamo calcolare i calori specifici dei metalli di cui sono composti i campioni.

## 2 Misurazione del calore specifico dei materiali ignoti

### 2.1 Esperienza e procedimento di misura

1. Versiamo nel pentolino una quantità d'acqua tale da permettere l'immersione completa dei campioni in essa e la scaldiamo. Per fare ciò più velocemente e assicurarci di essere in stato di ebollizione, regoliamo la temperatura della piastra a  $T > 100^\circ\text{C}$ .

2. Misuriamo 200 mL di acqua, distillata ed a temperatura ambiente, e la versiamo nel calorimetro.
3. Per ogni solido ( $A$ ,  $B$  e  $C$ ):
  - (a) Ne misuriamo la massa con la bilancia di precisione.
  - (b) Una volta che l'acqua nel pentolino si trova in corrispondenza della transizione di fase, lo immergiamo in essa in modo che raggiunga la  $T$  del sistema.
  - (c) Quando anch'esso raggiunge la temperatura di  $100^\circ\text{C}$ , lo spostiamo nel calorimetro e mescoliamo nuovamente. Come prima, sarà il termometro digitale a darci il valore di  $T$  in funzione del tempo.

## 2.2 Analisi dei dati raccolti e conclusioni

Grazie alle leggi della termodinamica sappiamo che:

$$m_{\text{met}}c_{\text{met}}(T_{\text{met}} - T_{\text{eq}}) = (c_{\text{acqua}}m_{\text{acqua}} + C_{\text{calorimetro}})(T_{\text{eq}} - T_{\text{acqua}})$$

Conoscendo il valore di  $m_{\text{equiv}}$ , possiamo scrivere:

$$m_{\text{met}}c_{\text{met}}(T_{\text{met}} - T_{\text{eq}}) = (m_{\text{acqua}} + m_{\text{equiv}})c_{\text{acqua}}(T_{\text{eq}} - T_{\text{acqua}})$$

Eseguendo una regressione lineare sui dati raccolti dal termometro digitale, rappresentati nel seguente grafico, abbiamo trovato calcolato il valore di  $T_{\text{eq}}$  per ogni solido. Dunque:

$$c_{\text{met}} = \frac{(m_{\text{acqua}} + m_{\text{equiv}})c_{\text{acqua}}(T_{\text{eq}} - T_{\text{acqua}})}{m_{\text{met}}(T_{\text{met}} - T_{\text{eq}})}$$

Nella seguente tabella riportiamo i valori ottenuti per ogni solido con le relative incertezze, che abbiamo calcolato con la propagazione standard degli errori in quanto piccole, sistematiche e indipendenti.

| <i>Campione</i> | $m$ (g)          | $T_{\text{eq}}$ ( $^\circ\text{C}$ ) | $c$ ( $\text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) |
|-----------------|------------------|--------------------------------------|---|
| <i>A</i>        | $12.43 \pm 0.01$ | $25.2 \pm 0.2$                       | $500.9617709 \pm 0$                     |
| <i>B</i>        | $28.73 \pm 0.01$ | $25.9 \pm 0.2$                       | $345.7664279 \pm 0$                     |
| <i>C</i>        | $44.86 \pm 0.01$ | $26.0 \pm 0.2$                       | $110.4618573 \pm 0$                     |

## 3 Misurazione del tempo caratteristico (del calorimetro?)

### 3.1 Esperienza e procedimento di misura

1. Misuriamo 200 mL di acqua distillata e la scaldiamo con nel pentolino.
2. Nel calorimetro, in partenza vuoto, versiamo l'acqua e la lasciamo raffreddare per circa un'ora registrandone la temperatura.

### 3.2 Analisi dei dati raccolti e conclusioni

L'ultima cosa che analizzeremo è la discesa esponenziale della temperatura dell'acqua dentro al calorimetro. La legge che segue questa discesa è:

$$(T - T_{\text{amb.}}) = (T_0 - T_{\text{amb.}})e^{-t/\tau}$$

Ne calcoleremo, in particolare, il tempo caratteristico, ovvero la quantità di tempo  $\tau$  che impiega l'acqua all'interno del calorimetro ad abbassare la sua temperatura di  $(T_0 - T_{\text{amb.}})e$  volte.

**Notazione.** *Indicheremo con  $T_0$  la temperatura dell'acqua scaldata.*

**Osservazione.** *Il parametro  $\tau$  descrive quanto bene il calorimetro trattienga il calore (quindi sia adiabatico).*

L'equazione della regressione lineare che abbiamo utilizzato è:

$$\ln(T - T_{\text{amb.}}) = \ln(T_0 - T_{\text{amb.}}) - \frac{1}{\tau}t$$