

0.12 Misura del calore specifico di un solido

Premessa

Per calore specifico di un materiale si intende la quantità di calore, che bisogna fornire all'unità di massa di un materiale per innalzare la sua temperatura di un grado centigrado ($^{\circ}\text{C}$) o kelvin (K). L'unità di misura del calore specifico nel SI è $\text{J}/\text{K} \cdot \text{kg}$. Un'unità di misura ancora molto usata è $\text{cal}/\text{C} \cdot \text{g}$, poiché la caloria (cal unità di misura del calore) è di immediato utilizzo, quando si fanno esperimenti con l'acqua ($1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$) distillata (di seguito si scriverà semplicemente acqua).

L'esperienza permette la misura del calore specifico c_x di un solido, riscaldato ad una temperatura T_1 , eppoi immerso in un bagno di acqua distillata alla temperatura T_0 (minore di T_1), all'interno di un recipiente termicamente isolato (calorimetro delle mescolanze di Regnault fig. 21). In tal caso il calore ceduto dal solido (Q_x) uguaglierà il calore assorbito dal sistema calorimetrico Q_C :

$$|Q_x| = Q_C$$

dove Q_x è preso in valore assoluto, in quanto il calore uscente dal corpo x è negativo (il calore entrante nel calorimetro è invece positivo). La legge fisica che correla la quantità di calore assorbito o ceduto è data dalla relazione:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

dove Q è il calore, m la massa del corpo, c il calore specifico del corpo e ΔT la variazione di temperatura del corpo stesso. Il prodotto mc è detto capacità termica del corpo di massa m e calore specifico c . Una volta inserito il corpo x nell'acqua la temperatura del solido e quella del sistema calorimetrico raggiungeranno una temperatura comune di equilibrio che indicheremo con T_{eq} .

Dall'equivalenza tra calore uscente dal corpo x e quello entrante nel

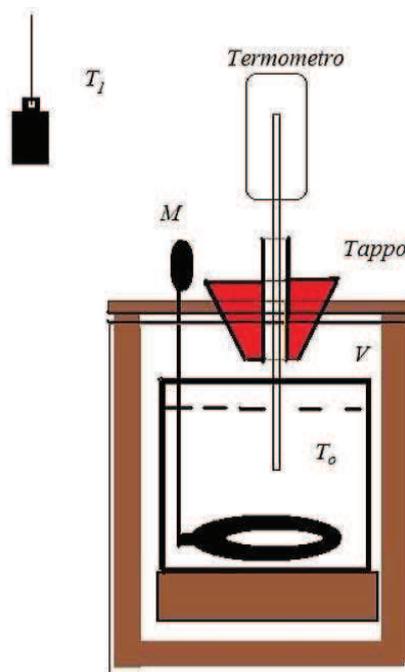


Figura 21: Calorimetro di Regnault.

sistema calorimetro si ottiene:

$$M_x \cdot c_x (T_1 - T_{eq}) = M_{sist} \cdot c_{sist} (T_{eq} - T_o), \quad (31)$$

dove c_x e M_x sono la massa ed il calore specifico (da determinare) del materiale, T_1 è la temperatura, alla quale è stato portato il solido prima di introdurlo nel bagno del calorimetro, T_o la temperatura dell'acqua subito prima dell'inserimento di M_x , T_{eq} la temperatura di equilibrio raggiunta dai due corpi. $M_{sist}c_{sist}$ è la capacità termica del sistema calorimetro. Tale quantità è data dalla somma delle capacità termiche di tutti i corpi, che costituiscono il calorimetro: il vaso calorimetrico, il miscelatore, il termometro e la massa d'acqua utilizzata $M_a c_a$.

$$M_{sist}c_{sist} = \sum_{i=1}^n M_i \cdot c_i + M_a \cdot c_a = m_{equiv} \cdot c_a + M_a \cdot c_a. \quad (32)$$

Bisogna quindi determinare sperimentalmente questa massa equivalente, mediante una procedura calibrazione del calorimetro. Tale procedura permetterà di sostituire $\sum_{i=1}^n M_i c_i$ con l'equivalente capacità termica di una opportuna quantità di acqua.

Si fa notare che si userà sempre l'equazione 32, nella quale si sostituirà $\sum_{i=1}^n M_i c_i$ con $m_{equiv} c_a$, capacità termica equivalente data m_{equiv} , per il calore specifico dell'acqua c_a .

Calibrazione del calorimetro

Si supponga di utilizzare un quantitativo m'_a di acqua scaldato ad una temperatura T'_1 e di inserirlo nel calorimetro, dove si trova una massa di acqua m_a alla temperatura T'_o . Si utilizzerà l'equazione 31, si individuano le temperature per questa procedura con l'apostrofo così anche la massa d'acqua (che indicheremo con la lettera miniscola (m_a), presente nel vaso calorimetrico calorimetro, l'equazione perciò diventa:

$$m'_a c_a (T'_1 - T'_{eq}) = (m_{equiv} + m_a) c_a (T'_{eq} - T'_o),$$

Dalla quale è immediato ricavare la massa equivalente in acqua m_{equiv} del calorimetro:

$$m_{equiv} = m'_a \frac{(T'_1 - T'_{eq})}{(T'_{eq} - T'_o)} - m_a \quad (33)$$

Ottenuta m_{equiv} , che possiamo determinare dalla misure dirette delle masse di acqua e delle temperature, si ritorna all'equazione 31 da cui si ottiene: $M_x c_x (T_1 - T_{eq}) = (m_{equiv} c_a + M_a c_a) (T_{eq} - T_o)$, quindi:

$$c_x = \frac{(m_{equiv} + M_a) (T_{eq} - T_o)}{M_x (T_1 - T_{eq})} c_a \quad (34)$$

Nelle considerazioni precedenti si è presupposto, che il calorimetro sia un sistema adiabatico, ovvero che non scambi calore con l'ambiente circostante. Invece si osserva che si ha un minimo scambio termico, ci sono vari modi per correggere l'eventuale non adiabaticità, ma ci limiteremo, per questo corso introduttivo, a interpolare in modo grafico le temperature misurate, per ottenere la temperatura di equilibrio subito dopo l'inserimento del corpo nel bagno di acqua.

Esecuzione

I procedimenti per l'esecuzione della misura sono simili sia per la calibrazione del calorimetro che per la misura del calore specifico di un corpo, per cui sarà sufficiente dare una descrizione dettagliata nel caso della calibrazione e meno per il caso della misura. Per entrambi è opportuno avere un'idea della quantità di acqua che può contenere il vaso per evitare che fuorisca nel calorimetro, per fare questo basta misurare con un calibro le dimensioni interne e calcolare il volume interno.

Inoltre è buona regola misurare anche la massa del vaso, anche se non utilizzata nel modo in cui si propone di condurre l'esperienza.

Calibrazione del calorimetro

Sono a disposizione dei contenitori graduati di vario tipo, sono fondamentali per la misura:

- 1° contenitore graduato a 70, 50 e 30 cc (utile per misura l'acqua da inserire nel vaso calorimetrico),
- 2° contenitore graduato 10, 20, 30 e 40 cc, con pezzi di guaina termica adesiva nera per prenderlo (per scaldare una piccola quantità di acqua).

Una volta verificato il volume di acqua che può contenere il vaso calorimetrico. Si riempia questo con quantità di acqua non inferiore a 120 ml (si usi il 1° contenitore con due pesate una 70 cc circa e l'altra da 50 cc circa). Questa quantità d'acqua è sufficiente per l'immersione del termometro e l'inserimento di almeno 20 cc di acqua calda.

Si prepari il 2° contenitore pieno a circa 40 cc acqua e lo si collochi sul fornello termostato a 150 °C ed aspettare che raggiunga la temperatura nell'intervallo 50-60 °C.

Dall'equazione 33 si osservi che è necessario misurare la massa di acqua messa nel calorimetro a temperatura ambiente m_a e la massa di acqua m'_a scaldata ad una temperatura T'_1 di circa 50-60 °C.

Si misuri la temperatura ogni 15 s, la temperatura dell'acqua nel calorimetro per qualche minuto.

Si versino circa 15-20 ml di acqua (attenzione a misurare la massa del contenitore pieno prima, misurare la temperatura subito prima di inserirla e a non superare la capienza stimata per il volume che può contenere il vaso calorimetrico, si ricordi inoltre di misurare la massa del contenitore subito dopo per avere la misura della massa d'acqua calda) e si misuri l'andamento della temperatura ogni 5 s, per avere il transiente e una volta raggiunta una temperatura più stabile ogni 15 s.

Il grafico riportato in figura 22 riporta l'andamento atteso.

L'inizio riporta la situazione prima dell'immersione, si rilevi al temperatura ogni 15" e si prenda come T'_o , quella osservata come andamento limite subito prima dell'immersione. Si inseriscano circa 20 ml di acqua calda. Attenzione, si ribadisce, a misurare il contenitore con l'acqua prima e dopo l'inserimento, per sottrazione si ottiene direttamente m'_a . Dopo l'inserimento dell'acqua calda, la temperatura tenderà a salire, si provi a rilevare la temperatura ogni 5 secondi, poi una volta osservato un andamento de-

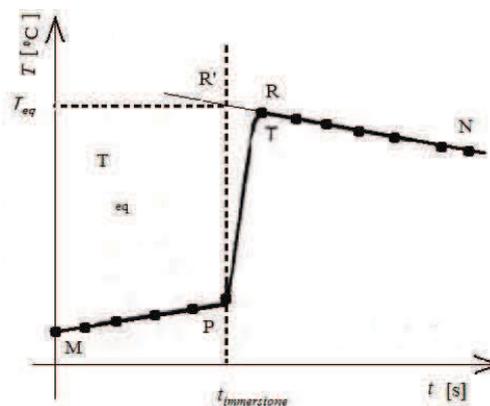


Figura 22: Andamento della temperatura del bagno termico nel calorimetro in funzione del tempo.

screscente si rilevi la temperatura ogni 15" per qualche minuto. Quello che bisogna ottenere è la retta MP , prima dell'inserimento dell'acqua calda e la retta RN dopo l'inserimento. Dal prolungamento della linea RN e la sua intersezione, con la parallela all'asse delle ordinate a partire dal punto P , si può ottenere la temperatura di equilibrio, da utilizzare nel calcolo, estrapolazione dall'andamento della retta RN . Dalla relazione 33 si ottiene così la massa equivalente in acqua del calorimetro.

Misura del calore specifico c_x

Si deve svuotare il calorimetro dell'acqua utilizzata e rifare tutto il procedimento e le nuove misure per il corpo, del quale si vuole determinare il calore specifico.

Si devono ripetere tutte le misure del riempimento e la misura della temperatura prima dell'inserimento del materiale di massa Mx . Si misuri la massa del corpo e poi lo si immerga nel tubo immerso a suo volta in un

bagno di acqua in ebollizione (vedere per la temperatura T_1 la tabella dell'ebollizione dell'acqua in funzione della pressione, per il 2010 si fornisce un sistema con la termocoppia per cui è possibile fare una misura di temperatura diretta).

Una volta inserito il materiale si ottiene un'altra curva tipo quella della figura 22, con le stesse considerazioni di sopra si ricava la nuova temperatura di equilibrio. Si utilizza l'equazione 34 per ricavare c_x .

Stima dell'errore sulla misura di c_x .

Errori a priori

Si osservi che l'errore su c_x può essere dedotto dalla propagazione degli errori applicata all'equazione 34. Si prenda come errore sulle misure di temperatura, quanto segnalato sul manuale del termometro o termocoppia. Si consideri l'errore di sensibilità di lettura (grado di precisione) e l'errore di accuratezza.

Per le misure di massa la sensibilità delle bilancia.

Ovviamente per l'errore sulla massa equivalente bisogna propagare l'errore secondo l'equazione 33 con le stesse considerazioni di cui sopra. L'errore sarà la somma dei rispettivi errori massimi a priori.

In entrambe le equazioni suddette si osservi che compare sempre una differenza tra temperature. In questo caso se la misura viene effettuata con lo stesso strumento, per il caso di errori di accuratezza, dato che avranno sempre lo stesso segno dovrebbero cancellarsi.

Attenzione però nell'equazione 34, se la temperatura di ebollizione dell'acqua viene presa da valori tabulati, allora bisogna tener conto dell'errore sulla misura di T_{eq} e quella dedotta dalle cifre significative del dato preso.

Diversamente utilizzando una termocoppia per tutte le misure (calibrata ...) anche per la temperatura di ebollizione Tali errori si elidono. Potrebbe essere un buon esercizio, calibrare la termocoppia e controllare se veramente si ottiene lo stesso risultato tenendo conto anche dell'errore sull'accuratezza.

Errori a posteriori

Ovviamente a posteriori, si osserva che le temperature si deducono dalla regressione lineare tra le due rette e l'estrapolazione della temperatura di equilibrio. Per l'esperienza da condurre nel corso dei turni di laboratorio, ci limiteremo alla sola analisi grafica.

Per la derivazione della temperatura di equilibrio, in entrambi i casi, si

potrebbe ricavare anche con il metodo dei minimi quadrati e quindi fornire l'errore ottenuto anche da tale derivazione.