

MISURE DI CALORIMETRIA

L'esperienza comprende tre parti:

- Determinazione del calore specifico di alcuni materiali
- Misura della costante di Joule.
- Misura del calore latente di fusione del ghiaccio.

Si utilizza un calorimetro delle mescolanze di Regnault.

***Attenzione:** Non mettere sulla piastra calda oggetti di plastica ma solo i vasi di vetro contenenti l'acqua distillata! Usare le pinze o il guantone per spostarli se sono caldi. Per tutte le parti dell'esperimento usare sempre solo acqua distillata, non acqua del rubinetto.*

INTRODUZIONE

Due corpi posti in contatto termico raggiungono la stessa temperatura, arrivano cioè all'**equilibrio termico**. La temperatura di equilibrio T_e che essi raggiungono dipende dalle temperature iniziali dei corpi, dalle loro masse e dai loro calori specifici. Infatti, il calore che cede il corpo A che si trovava a temperatura T_A più elevata è dato da:

$$Q_{\text{ceduto}} = c_A m_A (T_A - T_e) \quad (1)$$

Il calore acquistato dal corpo B, che si trovava a temperatura $T_B < T_A$ è dato da:

$$Q_{\text{acquistato}} = c_B m_B (T_e - T_B) \quad (2)$$

dove m_A, m_B sono le masse dei due corpi e c_A, c_B sono i rispettivi calori specifici.

Per misurare il calore specifico di una sostanza si utilizza il calorimetro delle mescolanze di Regnault. Il suo funzionamento si basa sullo scambio di calore tra la sostanza in esame e l'acqua distillata, di cui il calore specifico è noto (vedi Tabella). Lo scambio avviene all'interno di un vaso Dewar che mantiene le sostanze isolate termicamente rispetto l'ambiente. Giunti all'equilibrio termico, uguagliando la (1) e la (2) e misurando i valori delle masse e delle temperature si può ricavare il valore del calore specifico ignoto.

Supponiamo che il calorimetro contenga una massa d'acqua m_1 alla temperatura T_1 e di immergervi un corpo di massa m_s che si trova a una temperatura T_s maggiore di quella dell'acqua. Sia c_s il calore specifico ignoto del corpo. Poiché il sistema

termodinamico che stiamo considerando è un sistema isolato, attraverso lo scambio di calore tra tutte le componenti del sistema verrà raggiunta una condizione di equilibrio nella quale ciascuna di queste componenti si porterà alla stessa temperatura T_e .

Dobbiamo tuttavia considerare che oltre al corpo in esame e all'acqua, anche i diversi elementi interni al calorimetro (pareti, termometro, agitatore) parteciperanno allo scambio termico. Nel caso considerato il calore ceduto dal corpo più caldo verrà assorbito sia dall'acqua che da questi elementi. Viceversa, se si aggiunge acqua fredda in un calorimetro contenente acqua calda (in equilibrio con il calorimetro e ciò che esso contiene) saranno l'acqua del calorimetro e i suoi elementi a cedere calore.

Per poter dunque fare una misura di calorimetria è necessario conoscere previamente la quantità di calore che gli elementi del calorimetro acquistano o cedono.

Poiché si tratta di un insieme di diversi elementi, di materiali e masse diverse, il modo più semplice per conoscere tale quantità di calore è tarare il calorimetro, cioè determinare sperimentalmente questa quantità con una misura preliminare.

Si utilizza ancora l'acqua, il cui calore specifico è noto, e si determina quale sia la *massa di acqua che assorbe tanto calore quanto i componenti del calorimetro*. Si chiama **massa equivalente** m_e tale massa di acqua.

Allora il calorimetro è visto come un sistema ideale in cui il contributo di dispersione è nullo ma che contiene una massa d'acqua complessiva data dalla somma $m_l + m_e$.

In condizioni di equilibrio, si ha:

$$|Q_{ceduto}| = |Q_{acquistato}|$$

$$c_S m_S (T_S - T_e) = c_{acqua} (m_l + m_e) (T_e - T_l) \quad (3)$$

Il calore specifico dell'acqua c_{acqua} vale 1 Cal / kg / °C per l'acqua distillata, a 15 °C. Per calore specifico a temperature diverse si veda la tabella alla fine della scheda.

PROCEDURA SPERIMENTALE

1) DETERMINAZIONE DELLA MASSA EQUIVALENTE

Sia T_l la temperatura della massa di acqua m_l contenuta nel calorimetro. Si prenda una seconda massa d'acqua distillata m_2 ad una temperatura $T_2 > T_l$ e si versi nel calorimetro. Si misuri la temperatura di equilibrio T_e . Dall'equazione (1+2) si ricava:

$$m_e = m_2 \frac{(T_2 - T_e)}{(T_e - T_l)} - m_l \quad (4)$$

Le quantità da misurare sono: m_l , m_2 , T_l , T_2 , T_e .

T_2 deve superare T_l di almeno una decina di gradi centigradi affinché il calore ceduto sia apprezzabile. Si consiglia di utilizzare due masse d'acqua simili, di circa 200-300 g ciascuna in modo che in totale l'acqua riempi sufficientemente il calorimetro (la

quantità più opportuna va valutata in base alle dimensioni del vostro calorimetro). La misura di m_e va ripetuta più volte avendo cura che in ciascuna misura il calorimetro e l'acqua raggiungano effettivamente l'equilibrio.

Si deve far attenzione a minimizzare le dispersioni di calore durante il trasferimento dell'acqua calda nel calorimetro e durante le misure, a misurare le temperature dell'acqua in condizioni di stabilità e a ben miscelare e mantenere il calorimetro lontano dalla piastra riscaldante.

Per ridurre le dispersioni di calore si può invertire il procedimento mettendo l'acqua a temperatura maggiore nel calorimetro e aggiungendo acqua a temperatura ambiente.

Attenzione: in tal caso l'acqua nel calorimetro e il calorimetro stesso cedono il calore all'acqua aggiunta. L'equazione (4) per la massa equivalente va quindi opportunamente riscritta partendo dalla (1+2).

Bisogna sempre fare attenzione che il calorimetro sia in equilibrio termico con l'acqua che contiene (aspettare un certo tempo) e che rimanga sempre lontano da fonti di calore esterne (es. la piastra riscaldante).

2) DETERMINAZIONE DEL CALORE SPECIFICO DEI SOLIDI

Si utilizza come corpo caldo uno dei campioni in dotazione (rame, alluminio, ottone). Il corpo deve essere scaldato in acqua bollente per alcuni minuti in modo tale che il campione raggiunga l'equilibrio termico con l'acqua bollente, la cui temperatura T_s può essere facilmente misurata.

Dall'equazione (3) si ricava:

$$c_s = \frac{c_{acqua} (T_e - T_l) (m_l + m_e)}{(T_s - T_e) m_s} \quad (5)$$

Le quantità da misurare sono: m_s , m_l , T_l , T_e . Si consiglia di non superare i 200-300 g di acqua nel calorimetro per ottenere con i corpi a disposizione un apprezzabile innalzamento di temperatura. Va tuttavia *verificato* che il corpo inserito nel calorimetro risulti completamente immerso nell'acqua.

Si ripeta più di una volta la misura di c_s e si calcoli un valore medio.

Si verifichi la compatibilità del valore ottenuto per c_s con il valore tabulato per il metallo del campione utilizzato.

L'effetto di eventuale dispersione di calore nell'ambiente durante il trasferimento del corpo dal bagno in acqua bollente al calorimetro conduce ad una sottostima o sovrastima di c_s ?

OSSERVAZIONI

- Durante l'esperienza fare particolare attenzione a minimizzare le perdite di acqua e la dispersione di calore.
- Si faccia uso dell'**agitatore** per ottenere una temperatura omogenea dell'acqua.
- Si tenga in considerazione che è necessario un certo tempo perché il calorimetro raggiunga l'equilibrio termico con l'acqua in esso introdotta e perché possa raffreddarsi dopo esser stato utilizzato con acqua calda.
- Se si riporta la temperatura del bagno calorimetrico in funzione del tempo si dovrebbe ottenere un grafico del tipo rappresentato in figura 1.

Nel caso rappresentato in figura, la temperatura iniziale dell'acqua nel calorimetro era inferiore alla temperatura ambiente. Dopo 150 s, punto B, si è inserito nel calorimetro il solido a temperatura T_s . La pendenza dei tratti AB e CD del grafico è dovuta agli inevitabili piccoli scambi di calore con l'ambiente. Per stimare la temperatura di equilibrio T_e , che il sistema raggiungerebbe in assenza di dispersione di calore, si estrapola dal grafico, uguagliando le aree delle zone tratteggiate (a) e (b).

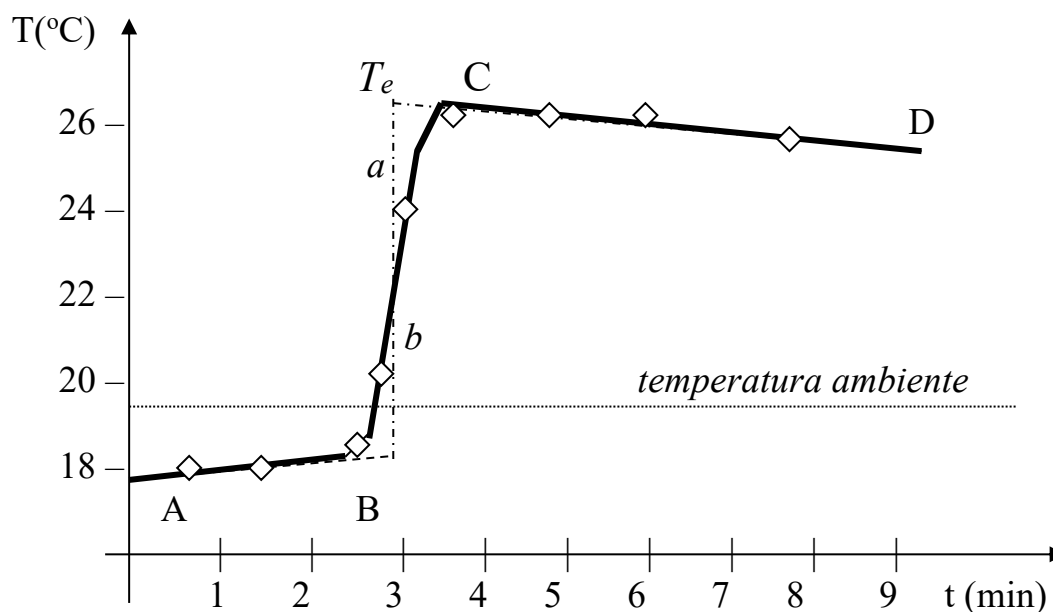


Figura 1

3) DETERMINAZIONE DEL VALORE DELLA COSTANTE DI JOULE.

La costante di Joule è il rapporto tra lavoro L compiuto su un sistema e il calore Q prodotto: $J = L/Q$. La costante di Joule si misura in **Joule/Calorie** e fornisce il *fattore*

di conversione tra le due unità di misura. Per poterla misurare si deve compiere sull'acqua un lavoro che corrisponda ad una quantità di calore sufficiente per produrre un innalzamento di temperatura misurabile. Nell'apparato a disposizione il lavoro è compiuto dal passaggio della corrente elettrica in un resistore immerso nell'acqua.

Per la legge di Joule, il lavoro prodotto da una corrente I che attraversa per un intervallo di tempo Δt una resistenza R a cui è applicata una tensione V è dato da

$$L = I \cdot V \cdot \Delta t$$

La quantità di calore acquistata in corrispondenza dal calorimetro è data da:

$$Q = c_{\text{acqua}} (m_1 + m_e) \Delta T$$

dove ΔT è la variazione di temperatura nell'intervallo di tempo Δt .

Se lavoro L è misurato in **Joule**, il calore Q è misurato in **calorie**, l'equivalente elettrico del calore risulta

$$J = \frac{I \cdot V \cdot \Delta t}{c_{\text{acqua}} (m_1 + m_e) \Delta T} \quad \frac{\text{joule}}{\text{Cal}}$$

Le quantità da misurare sono: Δt , I , ΔV , m_1 , ΔT .

Si introduca nel vaso Dewar una massa m_1 di acqua distillata di circa 200-300 g a temperatura ambiente T_1 (la quantità di acqua deve essere sufficiente perché le resistenze risultino completamente immerse).

Un modo preciso per determinare m_1 consiste nel pesare l'intera apparecchiatura prima e dopo avervi versato l'acqua. Si applichi il coperchio fornito di resistenze elettriche e si controlli, per alcuni minuti, azionando l'agitatore, che la temperatura rimanga costante. Anche durante le misure, in particolare prima di ogni lettura, si deve **agitare molto bene più volte**. Per il passaggio della corrente elettrica sul coperchio si trovano 4 boccole. In questo modo le due resistenze a spirale (ognuna di $\sim 3 \Omega$) possono essere collegate singolarmente, oppure entrambe, in serie o in parallelo. Come sorgente di energia elettrica si impiega un alimentatore 0-10 V, 0-5 A, a corrente continua.

ATTENZIONE: *prima di iniziare la misura far controllare il circuito dal responsabile del laboratorio.*

Si lasci quindi scorrere la corrente elettrica attraverso le resistenze, per un determinato tempo Δt (ad esempio 10 minuti), e si misurino accuratamente i valori di corrente I e tensione V , nonché l'aumento di temperatura (azionando continuamente l'agitatore). Una parte del calore prodotto viene sottratta all'acqua dalle parti immerse dell'apparecchio e dal vaso. Questa perdita è misurata dalla massa equivalente.

Misurare la temperatura a brevi intervalli di tempo (ad es. ogni 2 minuti) e determinare il calore acquistato. Calcolare il valore di J sia dall'innalzamento totale di temperatura ($\Delta T = T_{\text{fin}} - T_{\text{in}}$ e $\Delta t =$ tempo totale), che nei singoli intervalli di tempo.

Confrontare il valore di J ottenuto con quello previsto $J=4186 \text{ J/Cal}$.

4) MISURA DEL CALORE LATENTE DI FUSIONE DEL GHIACCIO

I cambiamenti di fase sono accompagnati da scambi di calore, che, per unità di massa, sono detti calori latenti λ . Nel caso di sostanze pure il calore latente è una quantità ben definita. Il calore richiesto per il cambio di fase di una massa m è pertanto dato da: $Q = m \lambda$. Ad esempio, una quantità di calore Q deve essere ceduto alla sostanza affinché avvenga la fusione.

Consideriamo una massa di acqua m_1 alla temperatura T_1 ($T_1 > T_0 = 273 \text{ K}$) presente nel calorimetro, cui venga aggiunta una massa m_2 di ghiaccio alla temperatura $T_2 < T_0$. Il ghiaccio assorbe calore, si riscalda fino a raggiungere la temperatura T_0 di fusione e quindi inizia a sciogliersi. Se il calore ceduto dall'acqua del calorimetro è sufficiente, tutto il ghiaccio si scioglie e si raggiunge una temperatura finale di equilibrio con l'acqua pari a T_e . All'equilibrio si ha:

$$(m_1 + m_{\text{eq}}) c_{\text{acqua}}(T_1 - T_e) = m_2 c_{\text{ghiaccio}}(T_0 - T_2) + m_2 \lambda + m_2 c_{\text{acqua}}(T_e - T_0)$$

dove c_{acqua} e c_{ghiaccio} sono i calori specifici rispettivamente dell'acqua distillata e del ghiaccio. Dalla misura di m_1 , m_2 , T_1 , T_2 e T_e si può quindi ricavare il valore di λ .

Per effettuare la misura con acqua nel calorimetro a temperatura ambiente si consiglia di usare una massa d'acqua circa 4-5 volte maggiore di quella del ghiaccio. Il calore specifico del ghiaccio a $t=0^\circ\text{C}$ è di $2051.5 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$.

NOTA

Il calore specifico dell'acqua distillata varia di qualche parte per mille in funzione della temperatura, come indicato in Tabella. Utilizzare nei calcoli il valor medio

corrispondente all'intervallo di temperature considerato. Attenzione: questa tabella fornisce il calore specifico in Joule.

t(°C)	c_p	t(°C)	c_p	t(°C)	c_p	t(°C)	c_p
0	4217.7	28	4178.8	56	4182.8	84	4199.7
4	4204.8	32	4178.3	60	4184.4	88	4203.2
8	4195.7	36	4178.3	64	4186.3	92	4205.1
12	4186.9	40	4178.4	68	4188.5	96	4209.2
16	4184.9	44	4179.2	72	4190.8	100	4216.0
20	4181.9	48	4180.2	76	4193.5		
24	4180.0	52	4181.4	80	4196.4		

Calore specifico dell'acqua c_p (J kg⁻¹K⁻¹) per $p = 1$ atm