CALORIMETRO

Esperienza effettuata il giorno 8 aprile 1997 da :
Maurizio Antonelli
Rosa De Matteis
Myra Cardellina

SOME RIGHTS RESERVED Some rights reserved: http://www.maury.it#licenza

Scopo dell'esperienza

Calibrazione del calorimetro ad acqua attraverso la determinazione dell'equivalente in acqua del calorimetro stesso.
Determinazione del calore specifico di alcune sostanze.
Determinazione dell'equivalente meccanico della caloria.

Strumenti a disposizione

- Calorimetro
- Bagno termostatico

Può raggiungere e mantenere la temperatura T=90°. Ha sensibilità 0.1°C.
Dosatori
Uno con intervallo 0-100 cm^3 e passo della scala 1 cm^3; l'altro con intervallo 0-500 cm^3 e passo della scala 10 cm^3.

- Bilancia

Con intervallo 0-200 g e sensibilità 1 mg.

- Termometri con varie sensibilità

Descrizione dell'esperienza

Per questa esperienza è stato usato il calorimetro delle mescolanze di Regnault.
Se m_A è la massa d'acqua contenuta nel calorimetro e T_1 la sua temperatura iniziale, quando si immerge un corpo a temperatura $T_2 > T_1$ la quantità di calore ceduta da quest'ultimo al bagno d'acqua è esprimibile mediante la relazione $Q = C_A*(m_A+m_0)*(T_0-T_1)$, dove C_A è il valor medio del calore specifico dell'acqua nell'intervallo di temperature T_1-T_0, T_0 è la temperatura d'equilibrio raggiunta dal sistema (acqua+corpo+vaso calorimetrico+accessori) ed m_0 è l'equivalente in acqua del calorimetro che tien conto del calore che viene ceduto alle pareti del vaso calorimetrico, al termometro ed all'agitatore. Per un impiego corretto dello strumento è stato quindi necessario calibrare il calorimetro determinando il suo equivalente in acqua.
Per completare la caratterizzazione del calorimetro conviene determinare la dispersione termica verso l'ambiente in funzione della temperatura e della quantità d'acqua contenuta nel vaso calorimetrico. Il coefficiente di dispersione termica ε ad una data temperatura è dato dalla velocità di cessione del calore a quella temperatura. Si ha cioè $\varepsilon(T)=(dQ/dt)T_a$, essendo T_a la temperatura ambiente.
Si può determinare sperimentalmente il coefficiente $\varepsilon(T)$ attraverso una misura della temperatura del bagno in funzione del tempo. Infatti la quantità di calore ceduta dal bagno all'ambiente nell'intervallo di tempo dt, è data da $dQ/dt=C_A*(m_A+m_0)*(dT/dt)$. L'andamento della temperatura del bagno in funzione del tempo è di tipo esponenziale: tale risultato deriva dal fatto che la quantità di calore ceduta dal bagno all'ambiente è proporzionale al salto di temperatura $(T-T_a)$ esistente tra il bagno e l'ambiente. Si ha cioè $C_A*(m_A+m_0)*(dT/dt)=K*(T-T_a)$, essendo K il coefficiente di conduzione termica.
Assumendo che K sia costante nell'intervallo di temperatura considerato si ottiene: $T=T_a+(T_2-T_a)*e^{-\alpha T}$ dove $\alpha=K/(C_A*(m_A+m_0))$ e T_2 la temperatura iniziale del bagno.
Da una misura della temperatura T(t) si ricava il termine α e da questo, essendo note le quantità C_A, m_A ed m_0 si ottiene il coefficiente di conduzione termica. Dalle relazioni precedenti si ricava che

$$\varepsilon(T)=dQ/dt=C_A*(m_A+m_0)*(dT/dt)=K*(T-T_a).$$

Effettuata la calibrazione del calorimetro questo si presta a misure del calore specifico di una sostanza. Se m è la massa del corpo in esame, riscaldato ad una temperatura T_2 (mediante il bagno termostatico) ed immerso nel calorimetro che inizialmente si trova alla temperatura T_1 si avrà che all'equilibrio vale la relazione

$$m*C_S*(T_2-T_0)=(m_A+m_0)*C_A*(T_0-T_1)$$

essendo T_0 la temperatura d'equilibrio, C_S il valor medio del calore specifico della sostanza in esame nell'intervallo di temperature T_0-T_2 e C_A il valor medio del calore specifico dell'acqua nell'intervallo di temperature T_1-T_0.

L'equivalente meccanico del calore è definito dal rapporto J=L/Q in cui L è il lavoro meccanico compiuto dalle forze esterne e Q la quantità di calore scambiata dal sistema in un ciclo chiuso. La costante J dipende solo dalle unità in cui si misurano L e Q e vale 4186 J/Cal. La sua misura, originariamente effettuata da Joule mediante un mulinello, viene eseguita in laboratorio mediante un resistore immerso nel bagno calorimetrico ed alimentato da una corrente nota I per un intervallo di tempo prefissato Δt. In questo caso il lavoro compiuto dal campo elettrico per fare fluire le cariche da un estremo all'altro del resistore è dato da $L=R*I^2*\Delta t=V*I*\Delta t$, essendo R il valore della resistenza e V la differenza di potenziale applicata ai capi del resistore.
Per i processi dissipativi che avvengono nel resistore tale lavoro è convertito integralmente in calore che può quindi essere misurato con il calorimetro. Si avrà quindi $V*I*\Delta t=J*Q$, da cui si ricava il valore dell'equivalente meccanico del calore.

Procedura sperimentale

A)Calibrazione del calorimetro. Nel calorimetro contenente una massa d'acqua m_A=0.5Kg alla temperatura T_1=292.85K (=197°C) abbiamo introdotto una massa d'acqua m'_A=0.2Kg a temperatura più alta T_2=307.55K(=34.4°C) (era conveniente che T_2-T_1 fosse al massimo una decina di K). Mediante l'agitatore abbiamo rimescolato le due masse d'acqua allo scopo di accelerare il raggiungimento della temperatura di equilibrio T_0=296.15K(=23°C). All'equilibrio T_0 possiamo uguagliare la quantità di calore ceduta dalla massa d'acqua più calda m'_A alla quantità di calore acquistata dall'acqua del calorimetro (massa m_A) e dai componenti immersi o posti a contatto con il bagno (massa equivalente m_0):

$$\int_{T_1}^{T_2} C_A(T)*m'_A*dT = \int_{T_1}^{T_0} C_A(T)*(m_A+m_0)*dT$$

essendo C_A il calore specifico dell'acqua.
Poiché C_A si mantiene pressochè costante nell'intervallo di temperature impiegate nella misura (la massima variazione percentuale di C_A nell'intervallo di temperature 288.2-323.2 K risulta dello 0.25%) la relazione precedente può essere riscritta nella forma approssimata: $m'_A*(T_2-T_0)=(m_A+m_0)*(T_0-T_1)$, da cui si ricava che $m_0=m'_A*((T_2-T_0)/(T_0-T_1))-m_A$
m'_A=0.2Kg T_0=236.15K T_1=292.85K T_2=307.55K segue m_0=0.1909 Kg

Abbiamo effettuato altre 2 misure usando una massa d'acqua più piccola:
m'_A=0.1Kg T_0=299.85K T_1=293.95K T_2=307.35K m_0=0.02711Kg
m'_A=0.1Kg T_0=298.15K T_1=291.55K T_2=306.45K m_0=0.02576Kg

Il motivo di valori così diversi è il fatto che m_0 dipende da quanto sono immerse le pareti del vaso, il termometro e l'agitatore. Per la nostre misure utilizzeremo il valor medio delle ultime due misure, m_0=0.02643Kg con deviazione standard della media σ_{m0}=0.0007Kg.

B)Determinazione del calore specifico di una sostanza. Abbiamo determinato la massa di 3 corpi mediante la bilancia di precisione, poi li abbiamo immersi per 15 minuti nel bagno termostatico la cui temperatura T_2=51.8°C(=324.95K) è controllata da un termometro a relè (vertex), immerso nel bagno termostatico, che provvede ad inserire o disinserire l'alimentatore quando la temperatura del bagno è rispettivamente inferiore o superiore al valore di temperatura che abbiamo prefissato. In questo caso non è corretto parlare di equilibrio termico del bagno in quanto la temperatura oscilla entro qualche centesimo di grado attorno al valore prefissato. Per evitare dispersioni di calore abbiamo effettuato le operazioni di trasferimento dal termostato al bagno calorimetrico con la massima rapidità servendoci di 3 fili di cotone per sostenere i corpi in esame. Abbiamo rimescolato la massa d'acqua del bagno e determinato la temperatura massima T_0 raggiunta dall'acqua del calorimetro. Il calore specifico della sostanza in esame è data da: $C_S=C_A*((m_A+m_0)/m)*(T_0-T_1)/(T_2-T_0)$. Incertezza data dalla legge della propagazione degli errori è : $\sigma=C_A*((m_A+\sigma_{m0})/m)*(T_0-T_1)/(T_2-T_0)$.
Ecco le nostre misure:

1) rame	T1=299.45K	T0=299.85K	T2=324.95K	m=9.8g	CS=5.91cal/(g*K)	σ=0.00
2) ferro	T1=299.55K	T0=300.55K	T2=323.55K	m=9.8g	CS=1.007 cal/(g*K)	σ=0.000
3) alluminio	T1=300.45K	T0=300.85K	T2=323.15K	m=11g	CS=0.3707 cal/(g*K)	σ=0.0000

C)Determinazione dell'equivalente meccanico del calore. La misura di J, effettuata con il metodo del resistore immerso nel bagno calorimetrico non ha richiesto particolari accorgimenti. Abbiamo usato un generatore stabilizzato in tensione, è stato sufficiente misurare la differenza di potenziale ΔV, registrare la corrente I=I(t) in funzione del tempo, misurare l'intervallo di tempo Δt in cui si è fatta circolare la corrente nel resistore e la variazione di temperatura ΔT subita dal bagno.
L'equivalente meccanico del calore sarà dato da:

$$J=\Delta V*\int_0^{\Delta t} I(t)*dt/(C_A*(m_A+m_0)*\Delta T)$$

essendo m_A la massa d'acqua del bagno, m_0 l'equivalente in acqua del calorimetro e C_A il valore medio del calore specifico dell'acqua nell'intervallo di temperature della misura.
Nel nostro esperimento era inserito in parallelo nel circuito elettrico un reostato mediante il quale abbiamo mantenuto costante nel tempo la corrente circolante nel resistore. In tal modo non è stato necessario eseguire l'integrazione numerica contenuta nell'espressione precedente, ma si ha semplicemente $J=I*\Delta V*\Delta t/(C_A*(m_A+m_0)*\Delta T)$.

M_A=0.2Kg m_0=0.02575Kg

Ecco le nostre misure:

1) T_0=298.05K I=2A ΔV=2.64V R=1.25Ω Δt=120sec
T_{finale}=298.95K ΔT=0.9K J=3.11

2) T_0=298.65K I=3A ΔV=3.74V R=1.25Ω Δt=120sec
T_{finale}=299.65K ΔT=1K J=5.96

3) T_0=299.65K I=4A ΔV=4.80V R=1.2Ω Δt=120sec
T_{finale}=301.55K ΔT=1.9K J=5.37

4) T_0=301.5K I=5A ΔV=5.92V R=1.184Ω Δt=120sec
T_{finale}=304.05K ΔT=2.55K J=6.1703

Prendendo il valore medio si ottiene J=5.153 con deviazione standard della media σ_J=0.702.
Il valore da noi trovato è coerente con il valore di aspettazione J=4.196 anche se abbiamo avuto un incertezza abbastanza alta.