

1. Misura di calore specifico

In questo esperimento impariamo a calibrare un calorimetro e ad utilizzarlo per trovare il calore specifico di un solido metallico.

Materiali

- un calorimetro con un volume di circa 1/4 di litro
- un piccolo solido metallico con un volume di qualche decina di cm^3
- acqua
- un fornellino
- un recipiente per scaldare l'acqua
- un paio di pinze
- un bastoncino per agitare l'acqua
- un recipiente graduato
- un termometro
- una bilancia

Descrizione e discussione

La fase di preparazione consiste nel misurare la capacità termica del calorimetro.

Versiamo nel calorimetro un bicchiere d'acqua (questo, come gli altri, è un valore indicativo, e dipende dal tipo di calorimetro che abbiamo a disposizione). Aspettiamo qualche minuto finché la temperatura T_1 del liquido sia stabilizzata. Questo valore rappresenta anche la temperatura del sistema acqua-calorimetro. Annotiamo il valore della temperatura.

Riscaldiamo altrettanta acqua fino a circa $60 - 70^\circ\text{C}$ (e misuriamo la sua temperatura T_2). Versiamo l'acqua calda nel calorimetro, richiudendolo immediatamente. Mescoliamo l'acqua con l'agitatore e attendiamo finché la temperatura indicata dal termometro resta approssimativamente costante. Prendiamo nota del valore della temperatura di equilibrio T_e .

Il calore ΔQ_2 ceduto dall'acqua calda al calorimetro e all'acqua che vi era contenuta inizialmente è:

$$\Delta Q_2 = m_2 \cdot c_{acqua} \cdot (T_2 - T_e)$$

dove m_2 è la massa dell'acqua che avevamo scaldato, T_2 la sua temperatura iniziale, c_{acqua} è il calore specifico dell'acqua ($c_{acqua} \approx 4184 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$) e T_e il valore di equilibrio della temperatura.

Il calore ΔQ_1 acquistato dall'acqua contenuta inizialmente nel calorimetro e dal calorimetro è invece:

$$\Delta Q_1 = (m_1 \cdot c_{acqua} + C_{cal}) \cdot (T_e - T_1)$$

dove m_1 è la massa dell'acqua contenuta inizialmente nel calorimetro e T_1 il valore della sua temperatura iniziale, e C_{cal} è la capacità termica del calorimetro.

Il calore ΔQ_2 ceduto dall'acqua calda deve essere uguale al calore ΔQ_1 assorbito (a parte le perdite), e quindi

$$m_2 \cdot c_{acqua} \cdot (T_2 - T_e) = (m_1 \cdot c_{acqua} + C_{cal}) \cdot (T_e - T_1).$$

da cui si trova

$$C_{cal} = \frac{m_2 \cdot c_{acqua} \cdot (T_2 - T_e) - m_1 \cdot c_{acqua} \cdot (T_e - T_1)}{(T_e - T_1)}.$$

Come ultima operazione preliminare misuriamo la massa M dell'oggetto metallico di cui vogliamo misurare la capacità termica.

Inseriamo ora il solido metallico nel calorimetro e ripetiamo le operazioni fatte per trovare la capacità termica del calorimetro, solo che ora quello che si trova è la somma della capacità termica del calorimetro e di quella del solido: troviamo quindi per sottrazione la capacità termica C del solido, e da questa il calore specifico $c = C/M$.

Tabelle di calore specifico

<i>Metallo</i>	<i>Calore specifico</i> $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
Alluminio	900
Acciaio inox	510
Argento	235
Bronzo	360
Ferro puro	106
Ferro temperato	500
Invar (64% Fe+36%Ni)	503
Nickel	460
Oro	132
Ottone	370
Piombo	126
Rame	385
Stagno	226
Titanio	523
Zinco	385

<i>Sostanza</i>	<i>Fase</i>	<i>Calore specifico</i> $J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}$
Aria secca	gas	1.005
Aria (100% umidità)	gas	≈ 1.030
Alluminio	solido	0.900
Berillio	solido	1.824
Ottone	solido	0.377
Rame	solido	0.385
Diamante	solido	0.502
Etanolo	liquido	2.460
Oro	solido	0.129
Grafite	solido	0.720
Elio	gas	5.190
Idrogeno	gas	14.300
Ferro	solido	0.444
Litio	solido	3.582
Mercurio	liquido	0.139
Azoto	gas	1.042
Petrolio	liquido	≈ 2.000
Ossigeno	gas	0.920
Quarzo fuso	solido	0.703
Acqua	gas	1.850
	liquido	4.184
	solido (0 °C)	2.060

Calore specifico di alcuni materiali da costruzione

<i>Sostanza</i>	<i>Fase</i>	<i>Calore specifico</i> $J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}$
Asfalto	solido	0.92
Mattone	solido	0.84
Cemento	solido	0.88
Vetro, crown	solido	0.67
Vetro, flint	solido	0.503
Vetro, pyrex	solido	0.753
Granito	solido	0.790
Gesso	solido	1.09
Marmo	solido	0.880
Sabbia	solido	0.835
Terriccio	solido	0.80
Legno	solido	1.7

2. Calore di fusione del ghiaccio

In questo esperimento calcoliamo il calore di fusione del ghiaccio facendo fondere del ghiaccio in acqua tiepida e misurando la variazione di temperatura dell'acqua la variazione di massa del ghiaccio.

Materiali

- come nell'esperimento precedente, e in più dei cubetti di ghiaccio

Descrizione e discussione

Il calore di fusione del ghiaccio è la quantità di calore assorbita quando il ghiaccio fonde. In generale quando una sostanza fonde assorbe una quantità di calore che dipende dalla massa m della sostanza e dal suo calore di fusione specifico L_f :

$$\Delta Q = m \cdot L_f$$

Quindi, per calcolare L_f dobbiamo misurare il calore assorbito dalla fusione e la quantità iniziale di ghiaccio.

Prendiamo dunque un cubetto di ghiaccio di massa m_g , e il calorimetro utilizzato nell'esperimento precedente riempito con acqua tiepida (massa dell'acqua tiepida = m_a). Siano inoltre T_a e T_g le temperature iniziali di acqua e ghiaccio, rispettivamente.

Mettiamo il cubetto di ghiaccio nell'acqua e lasciamolo fondere. Alla fine l'acqua e il calorimetro si stabilizzano alla temperatura T_f . L'acqua di cui era fatto il cubetto ha assorbito una quantità di calore uguale al calore di fusione più il calore necessario per elevare la temperatura fino a quella del resto dell'acqua:

$$\Delta Q_g = m_g L_f + m_g \cdot c_{acqua} \cdot (T_f - T_g)$$

L'acqua già presente nel calorimetro più il calorimetro stesso hanno invece ceduto calore:

$$\Delta Q_a = m_a \cdot c_{acqua} \cdot (T_a - T_f) + C_{cal} \cdot (T_a - T_f)$$

Uguagliando il calore assorbito al calore ceduto si ottiene infine il calore di fusione specifico:

$$L_f = \frac{1}{m_g} \left[-m_g \cdot c_{acqua} \cdot (T_f - T_g) + m_a \cdot c_{acqua} \cdot (T_a - T_f) + C_{cal} \cdot (T_a - T_f) \right]$$

La tabella mostrata nella pagina seguente riporta il calore di fusione specifico ed alcune altre proprietà dell'acqua.

Alcune proprietà importanti dell'acqua (da CRC Handbook of Chemistry and Physics, 2003)

entalpia di formazione dell'acqua (liquida): $\Delta H_f(15^\circ\text{C}) = -285.8 \text{ kJ/mole} = -17.86 \text{ kJ/g}$

entalpia di formazione del vapore acqueo: $\Delta H_f(15^\circ\text{C}) = -241.8 \text{ kJ/mole} = -15.11 \text{ kJ/g}$

entalpia di fusione del ghiaccio: $\Delta H_{\text{fusione}}(0^\circ\text{C}) = 5.338 \text{ kJ/g} = 333.6 \text{ J/g}$

entalpia di sublimazione del ghiaccio: $\Delta H_{\text{sublimazione}}(0^\circ\text{C}) = 45.41 \text{ kJ/mole} = 2.838 \text{ kJ/g}$

capacità termica specifica dell'acqua liquida a pressione standard:

$$C_p(15^\circ\text{C}) = 75.3 \text{ J/mole}\cdot\text{K} = 4.184 \text{ J/g}\cdot\text{K}$$

capacità termica specifica del vapore acqueo a pressione standard:

$$C_p(15^\circ\text{C}) = 33.6 \text{ J/mole}\cdot\text{K} = 2.1 \text{ J/g}\cdot\text{K}$$

PROPERTIES OF WATER IN THE RANGE 0 – 100 °C

This table summarizes the best available values of the density, specific heat capacity at constant pressure (C_p), vapor pressure, viscosity, thermal conductivity, dielectric constant, and surface tension for liquid water in the range 0 – 100 °C. All values (except vapor pressure) refer to a pressure of 100 kPa (1 bar). The temperature scale is IPTS-68.

t °C	Density g/cm ³	C_p J/g K	Vap. pres. kPa	Visc. μPa s	Ther. cond. mW/K m	Diel. const.	Surf. ten. mN/m
0	0.99984	4.2176	0.6113	1793	561.0	87.90	75.64
10	0.99970	4.1921	1.2281	1307	580.0	83.96	74.23
20	0.99821	4.1818	2.3388	1002	598.4	80.20	72.75
30	0.99565	4.1784	4.2455	797.7	615.4	76.60	71.20
40	0.99222	4.1785	7.3814	653.2	630.5	73.17	69.60
50	0.98803	4.1806	12.344	547.0	643.5	69.88	67.94
60	0.98320	4.1843	19.932	466.5	654.3	66.73	66.24
70	0.97778	4.1895	31.176	404.0	663.1	63.73	64.47
80	0.97182	4.1963	47.373	354.4	670.0	60.86	62.67
90	0.96535	4.2050	70.117	314.5	675.3	58.12	60.82
100	0.95840	4.2159	101.325	281.8	679.1	55.51	58.91
Ref.	1–3	2	1, 3	3	3	4	5

REFERENCES

1. L. Harr, J. S. Gallagher, and G. S. Kell, *NBS/NRC Steam Tables*, Hemisphere Publishing Corp., 1984.
2. K. N. Marsh, Ed., *Recommended Reference Materials for the Realization of Physicochemical Properties*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1987.
3. J. V. Sengers and J. T. R. Watson, Improved international formulations for the viscosity and thermal conductivity of water substance, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 15, 1291, 1986.
4. D. G. Archer and P. Wang, The dielectric constant of water and Debye-Hückel limiting law slopes, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 19, 371, 1990.
5. N. B. Vargaftik, et al., International tables of the surface tension of water, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 12, 817, 1983.

ENTHALPY OF VAPORIZATION OF WATER

The enthalpy (heat) of vaporization of water is tabulated as a function of temperature on the IPTS-68 scale.

REFERENCE

Marsh, K. N., Ed., *Recommended Reference Materials for the Realization of Physicochemical Properties*, Blackwell, Oxford, 1987.

t °C	$\Delta_{\text{vap}}H$ kJ/mol	t °C	$\Delta_{\text{vap}}H$ kJ/mol
0	45.054	200	34.962
25	43.990	220	33.468
40	43.350	240	31.809
60	42.482	260	29.930
80	41.585	280	27.705