

FRANCESCA ESPOSITO

25/01/'12, LABORATORIO di FISICA, LICEO LEONARDO da VINCI, GALLARATE

DETERMINAZIONE DEL CALORE

LATENTE DEL GHIACCIO

MATERIALE UTILIZZATO

Il seguente è il materiale che abbiamo utilizzato in questa esperienza:

- un cilindro graduato;
- un termometro;
- un becher;
- una bilancia elettronica di precisione;
- un calorimetro(il numero 3);
- acqua di rubinetto;
- ghiaccio;

PREMESSA TEORICA

In primo luogo credo sia opportuno spiegare cosa sono rispettivamente tutti i materiali di cui ci siamo serviti.

CILINDRO: si tratta di uno strumento, solitamente realizzato con resistente vetro pyrex, utilizzato in laboratorio per effettuare misurazioni o dosaggi di volumi di liquidi; è costituito da un semplice tubo di forma cilindrica con un'estremità chiusa dotata di supporto e una aperta avente un beccuccio, per facilitare le operazioni di travaso. Su di esso è presente una scala graduata sulla quale si può leggere il volume del liquido versatovi.

BILANCIA ELETTRICA di PRECISIONE: è uno strumento utilizzato per misurare la massa di uno strumento; quella che abbiamo adoperato in laboratorio ha una sensibilità di un centigrammo.

BECHER: si tratta di uno strumento, come il cilindro realizzato in vetro pyrex, utilizzato in laboratorio solitamente per riscaldare liquidi e permettere reazioni o osservazioni su di essi, e non per misurare o dosare; anche questo è di forma cilindrica e solitamente graduato, ma ha un diametro più grande rispetto a un cilindro.

TERMOMETRO: è uno strumento utilizzato per misurare la temperatura dei corpi, ovvero l'energia cinetica delle molecole, che non è altro che la velocità media delle molecole di un corpo. Esistono diversi tipi di termometro; uno dei primi è il **termometro galileiano**, messo a punto dallo scienziato Galileo Galilei, che consiste in un cilindro di vetro verticale riempito di alcool; all'interno di questo liquido vi sono delle boccette (o ampolline), e su ognuna di queste vi è indicata una temperatura. Queste boccette sono

riempite a loro volta di un liquido colorato, per una più facile identificazione. Quando si è raggiunto l'equilibrio termico (due corpi sono in equilibrio termico quando hanno la stessa temperatura), si vengono solitamente a creare due gruppi di boccette, uno più in basso nel cilindro e l'altro in alto. La temperatura segnata sulla boccetta più in basso tra quelle del gruppo in alto segnala l'attuale temperatura atmosferica. Per il suo funzionamento, tale termometro sfrutta il **principio di Archimede** ($\Delta F = \rho V g$, quindi densità del liquido moltiplicato per il volume del solido moltiplicato per l'accelerazione di gravità).

Nel 1709 fu poi realizzato dallo scienziato tedesco Daniel Gabriel Fahrenheit il **termometro a mercurio**. Tale strumentazione sfrutta invece il fenomeno della dilatazione termica, motivo per cui venne scelto il mercurio come **liquido termometrico**: tra i corpi solidi, infatti, quelli che aumentano maggiormente di volume sono i metalli, grazie alla loro particolare struttura atomica (i vari atomi di metallo sono legati fra loro dagli elettroni che hanno ceduto, il mare di elettroni), nella quale l'energia cinetica si diffonde molto rapidamente; mettendo a confronto, invece, un corpo solido con un liquido, il secondo sente di più rispetto al primo il fenomeno della dilatazione termica. A questo punto, dal momento che il mercurio è un **metallo liquido**, nessun altro materiale sarebbe stato tanto adatto, senza contare però il suo livello di tossicità piuttosto elevato, cosa che ha portato negli anni novanta all'invenzione di termometri elettrici che rimpiazzassero quello inventato da Fahrenheit.

Lo scienziato tedesco inoltre diede il nome ad una scala di misurazione della temperatura ancora in uso oggi, appunto la **scala Fahrenheit** (°F), nella quale l'acqua congela a 32° e bolle a 212° ; la differenza tra i due valori è quindi 180°F e non 100° C come nella **scala Celsius** (a 0° infatti l'acqua è sottoforma di ghiaccio, mentre a 100° si trasforma in vapore) o centigrada, messa a punto dall'omonimo scienziato svedese.

Esistono infine altre due scale:

- la **scala Reaumur**, nella quale è stata fissata a 0°R la temperatura a cui ghiaccia l'acqua e a 80°R quella in cui questa bolle;
- la **scala kelvin** che ha simbolo K, messa a punto dall'inglese William Thomson, il cui nome da barone è Lord kelvin; in questa scala lo zero è posto a -273,15°C. Una delle sette unità di misura del Sistema Internazionale, il kelvin viene definito come 1/273,16 della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua. Per "temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua" si intende la differenza di temperatura fra lo zero assoluto (appunto -273,15 °C, temperatura a cui le molecole sono completamente ferme, non sono dotate quindi di alcuna energia) e il punto triplo dell'acqua (0,01 °C), temperatura a cui l'acqua esiste a tutti e tre gli stati di aggregazione della materia.

CALORIMETRO: è un dispositivo che viene utilizzato in **calorimetria** (l'insieme delle tecniche di misurazione delle quantità di calore cedute o assorbite durante reazioni chimiche, passaggi di stato e altri processi chimici e fisici, ai fini di determinare i calori specifici, le capacità termiche, i calori latenti relativi alle sostanze, ai corpi e ai processi in esame) per la misurazione della quantità del calore. Esistono tre diversi tipi di calorimetro; quello che abbiamo noi utilizzato in questa esperienza è il calorimetro **delle mescolanze**, o calorimetro ad acqua. Esso essenzialmente è costituito da un vaso di vetro isolato (ha infatti doppie pareti tra le quali c'è il vuoto, l'aria è stata quindi aspirata), chiamato **vaso Dewar**; questo si può dire quindi **adiabatico**, non lascia cioè passare il calore. L'altro principale componente dello strumento è il coperchio, anche questo teoricamente isolante (si è detto "teoricamente" perché in realtà il calorimetro da noi utilizzato disponeva di un coperchio in plastica; questo ha compromesso quindi in parte la riuscita

dell'esperienza). Il dispositivo è poi provvisto di un **agitatore**, che ha come fine quello appunto di miscelare bene tra loro le sostanze prese in esame, e di un termometro, per la registrazione delle temperature utili all'esperienza. Sul fondo del vaso Dewar si nota la presenza di un reticella, posta a fini protettivi del vaso stesso.

Il calorimetro **a ghiaccio** (o di Lavoisier e Laplace) è un calorimetro formato da tre recipienti concentrici: nel più interno si colloca il corpo in esame; in quello intermedio il ghiaccio; in quello più esterno si colloca dell'altro ghiaccio che ha la funzione di isolante, evitando che il calore dell'ambiente esterno sciogla il ghiaccio del recipiente intermedio. In base alla quantità d'acqua che fuoriesce dal recipiente intermedio mediante un apposito condotto si può misurare il calore fornito dal corpo nel contenitore più interno, ed eventualmente calcolarne il calore specifico.

Il calorimetro **di Bunsen** è un calorimetro formato da un recipiente contenente acqua distillata, il cui fondo è connesso ad un tubo ripiegato a U contenente mercurio e terminante in un capillare. Una provetta, sulla quale è stato precedentemente fatto formare uno strato di ghiaccio, è posta all'interno del bagno d'acqua. Inserendo il corpo in esame la quantità di ghiaccio all'esterno della provetta può aumentare o diminuire in relazione al calore assorbito/ceduto dal corpo. La quantità di calore scambiato è quindi ottenuta a partire dalla variazione di volume dell'acqua, misurata dall'altezza del mercurio nel capillare.

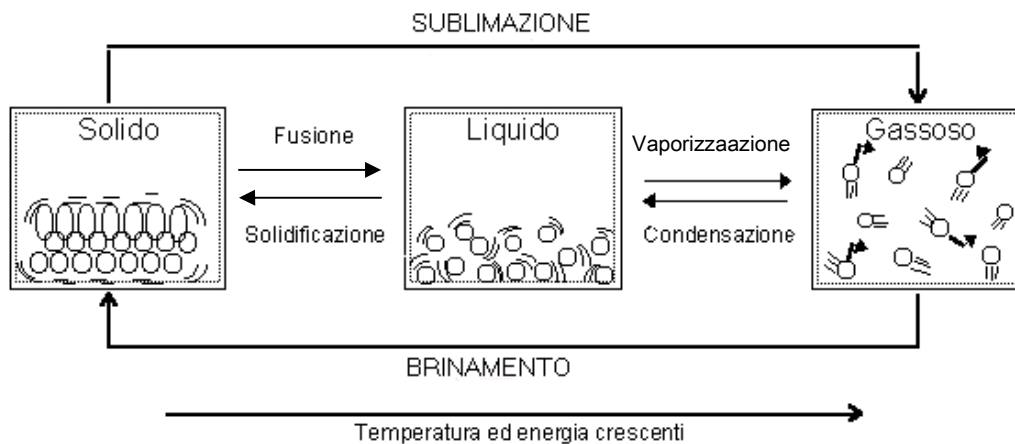
Ora vorrei ricordare cosa sono i passaggi di stato e le soste termiche ad essi correlati.

I PASSAGGI di STATO: è la trasformazione di un sistema termodinamico da uno stato di aggregazione ad un altro. Infatti lo stato di aggregazione di un corpo non è una sua caratteristica immutabile ma può cambiare a seconda delle condizioni in cui esso si trova. Nella maggior parte dei casi, i passaggi di stato avvengono per un aumento o diminuzione della temperatura, ma anche per una variazione di pressione. Somministrando energia sottoforma di calore questa si trasforma in energia di movimento (energia cinetica) delle particelle che lo costituiscono; esiste quindi una diretta correlazione tra la temperatura (manifestazione macroscopica) di un corpo e il movimento (manifestazione microscopica) delle sue particelle. I passaggi di stato sono **trasformazioni fisiche** poiché la materia non cambia la sua composizione (come avviene nelle trasformazioni chimiche) ma solo il modo in cui ci appare (es. ghiaccio, acqua e vapore acqueo ci appaiono differenti ma sono tutti costituiti dallo stesso tipo di particelle).

I passaggi di stato sono diversi e, ovviamente, altrettanti sono i nomi per indicarli:

- **fusione:** avviene quando un corpo, riscaldato, passa dallo stato solido a quello liquido (es. un cubetto di ghiaccio lasciato a temperatura ambiente);
- **vaporizzazione:** si ha quando riscaldando un corpo esso passa dallo stato liquido a quello aeriforme; questa può avvenire tramite l'**evaporazione**, che coinvolge solo la superficie del liquido e avviene a qualunque temperatura in cui la sostanza è allo stato liquido (es. l'acqua di una pozzanghera che evapora) o tramite l'**ebollizione**, che interessa tutta la massa del liquido e avviene a specifici gradi di temperatura e pressione (es. un pentolino di acqua che bolle sul fornello);
- **condensazione:** è il passaggio di stato che si ha quando, raffreddandolo, un gas si trasforma in liquido (es. il vapore acqueo che d'inverno condensa sui vetri freddi);
- **solidificazione:** avviene quando raffreddando un corpo liquido questo si trasforma in solido (es. i cubetti di ghiaccio che si formano nel freezer);

- **sublimazione**: è il passaggio di stato che si ha quando un corpo solido passa allo stato aeriforme, saltando il passaggio intermedio che è la fusione; alcuni esempi sono lo iodio che sublimando svolge dei vapori violetti e il ghiaccio secco (anidride carbonica solidificata, alla temperatura di -78°C) che a



temperatura ambiente passa allo stato di gas;

- **brinamento**: è il passaggio di stato che si ha quando un corpo aeriforme arriva allo stato solido senza transitare per lo stato intermedio, la condensazione. Un esempio è il vapore acqueo che, nelle notti freddi si trasforma in brina.

SOSTA TERMICA: è il fenomeno per cui la temperatura resta costante durante la transizione di fase. Infatti, quando si scalda un solido, ovvero gli si fornisce energia, la sua temperatura, e quindi la velocità delle sue molecole, aumenta, ma solo fino a un determinato valore. A questo punto, pur continuando a fornire calore, la temperatura non aumenta più. Questo perché il calore fornito andrà a servire alla rottura del reticolo cristallino del solido, e non più all'incremento della sua temperatura, per renderlo completamente liquido.

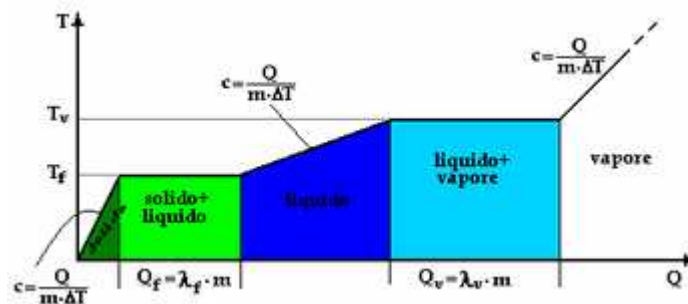
Ora vorrei spiegare brevemente il concetto di calore per poi soffermarmi su quello di calore latente.

CALORE (Q): grandezza fisica che misura la quantità di energia che può essere aggiunta o sottratta ad un sistema termodinamico (corpo fisico a cui si possa associare uno stato termodinamico misurato dalla grandezza temperatura T), la quale può provocare la variazione dello stato termico, misurata da ΔT oppure il cambiamento di stato. Si misura in **Joule** o **Calorie** ed è una grandezza con segno, ossia si assume positiva se l'energia viene comunicata al sistema e negativa se quest'ultima viene sottratta al sistema stesso. La quantità di calore di un corpo è direttamente proporzionale alla sua massa e alla variazione della temperatura. Questo è riassunto nella seguente, la **legge fondamentale della termologia**:

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

dove c è il calore specifico, quindi la costante, m la massa espressa in kg e ΔT la variazione di temperatura espressa in $^{\circ}\text{C}$ o in K.

CALORE LATENTE: (associato a una trasformazione termodinamica) è la quantità di calore necessaria allo svolgimento di una transizione di fase (o passaggio di stato) di un'unità di massa. L'unità di misura del calore latente nel Sistema internazionale è J/kg. Spesso il calore latente viene espresso per mole di sostanza come calore latente molare e nel SI si misura in J/mol. La teoria cinetica dei gas interpreta il calore latente nel seguente modo: durante la transizione di fase di un sistema bifasico, l'energia fornita (rispettivamente assorbita) al sistema non va a incrementare (rispettivamente decrementare) la temperatura del sistema stesso, bensì agisce sulla forza dei legami intermolecolari. A seconda del tipo di transizione di fase in questione, si parla di: calore latente di fusione, calore latente di vaporizzazione, calore latente di sublimazione.



Nel soprastante grafico si può notare come la temperatura di un corpo solido aumenti solo fino a un determinato punto, cioè il punto di solido saturo (il titolo di solido è 100%, quello di liquido 0%); dopodiché si va in contro ad un **sistema bifase**, in cui cioè il corpo è sia allo stato solido che liquido, in diverse percentuali. Questo fino a quando non si arriva al punto di liquido saturo, quando il processo di fusione è terminato e si è in presenza di un'altra sosta termica corrispondente a un nuovo sistema bifase, questa volta formato dal corpo allo stato parzialmente liquido e parzialmente gassoso. Infine, con un ulteriore aumento della temperatura, si giunge al punto di vapore saturo: il corpo oramai è completamente allo stato gassoso.

Il calore necessario al passaggio di fase si può calcolare con la formula:

$$Q = \lambda \cdot m$$

dove Q è il calore sottratto o fornito al sistema, λ è il coefficiente di calore latente diverso per ogni materiale e dal quale dipende Q e m è la massa del corpo preso in considerazione.

Ragionando brevemente si può giungere alla conclusione che il calore latente di evaporazione è sempre maggiore di quello di fusione, in quanto è necessaria una maggiore quantità di energia per dividere le molecole (vaporizzazione) che per allontanarle semplicemente permettendo loro comunque di scivolare le une sulle altre (fusione).

EQUILIBRIO TERMICO: fenomeno, già analizzato in termologia, per cui due corpi che si trovano in due stati termici diversi, se messi a contatto, dopo un certo periodo di tempo, uniformano la propria temperatura. Ciò accade in seguito ad uno scambio di calore: il corpo a temperatura più alta cede calore al corpo a temperatura più bassa che si riscalda, in modo tale che, dopo un certo periodo di tempo, il sistema raggiunge una temperatura, detta **Teq** (temperatura di equilibrio). Se gli scambi di calore avvengono senza perdite di energia, in un sistema adiabatico, si può dire che tutta l'energia perduta dal corpo che si

raffredda viene acquisita dal corpo che si riscalda, pertanto vale la seguente equazione degli scambi di calore:

$$Q_1 = Q_2$$



$$mc\Delta T = mc\Delta T$$

dove Q_1 è il calore ceduto e Q_2 è il calore assorbito; attraverso tale equazione è possibile ricavare la temperatura di equilibrio, conoscendo la temperatura dei due corpi:

$$mc(T_1 - x) = mc(x - T_2)$$

dove T_1 e T_2 sono rispettivamente le temperature del corpo più caldo e più freddo e x rappresenta invece la temperatura di equilibrio, che è appunto l'incognita.

Quando invece lo scambio di calore avviene in un sistema che assorbe parte del calore stesso si utilizza la seguente equazione, nella quale entra in gioco l'**equivalente in acqua** del sistema (ad esempio il calorimetro), ovvero la massa di acqua che assorbe la stessa quantità di calore del sistema stesso (**meq**):

$$mc(T_1 - x) = mc(x - T_2) + meq \cdot c(x - T_2)$$

Ai precedenti bilanci, però, bisogna aggiungerne anche un terzo; nel caso infatti si fosse in presenza di un cambiamento di stato allora andrebbe aggiunto all'equazione anche il calore latente. Mettiamo il caso che un cubetto di ghiaccio arrivi da una temperatura di -10°C a una di 50°C ; l'equazione da utilizzare per trovare il calore totale è la seguente:

$$Q = Q_1 + Q_{\text{fus}} + Q_2$$

$$Q = mc_{\text{gh}}(0^\circ + 10^\circ) + m \lambda_{\text{fus}} + mc_{\text{acq}}(50^\circ - 0^\circ)$$

ESECUZIONE DELL'ESPERIENZA

Dopo che ci è stato distribuito il materiale per attuare la sperimentazione ed esplicitare il procedimento da seguire, abbiamo dato inizio al lavoro.

Per prima cosa abbiamo travasato dal rubinetto 400ml di acqua nel calorimetro, servendoci del cilindro graduato. A questo punto abbiamo atteso che l'acqua termalizzasse e che il ghiaccio che si trovava in laboratorio arrivasse alla temperatura di 0°C , dai 18°C a cui si trovava inizialmente (abbiamo quindi aspettato che iniziasse sciogliersi).

Dopodiché abbiamo misurato la temperatura dell'acqua all'interno del calorimetro; quindi abbiamo posto sulla bilancia di precisione un becher, l'abbiamo azzerata con l'apposito pulsante (togliendo quindi la tara) e abbiamo "massato" il ghiaccio. Quindi abbiamo messo il ghiaccio all'interno del calorimetro e abbiamo isolato il sistema attraverso la lana (abbiamo usato sciarpe, maglioni...), utilizzandola al posto del coperchio del calorimetro.

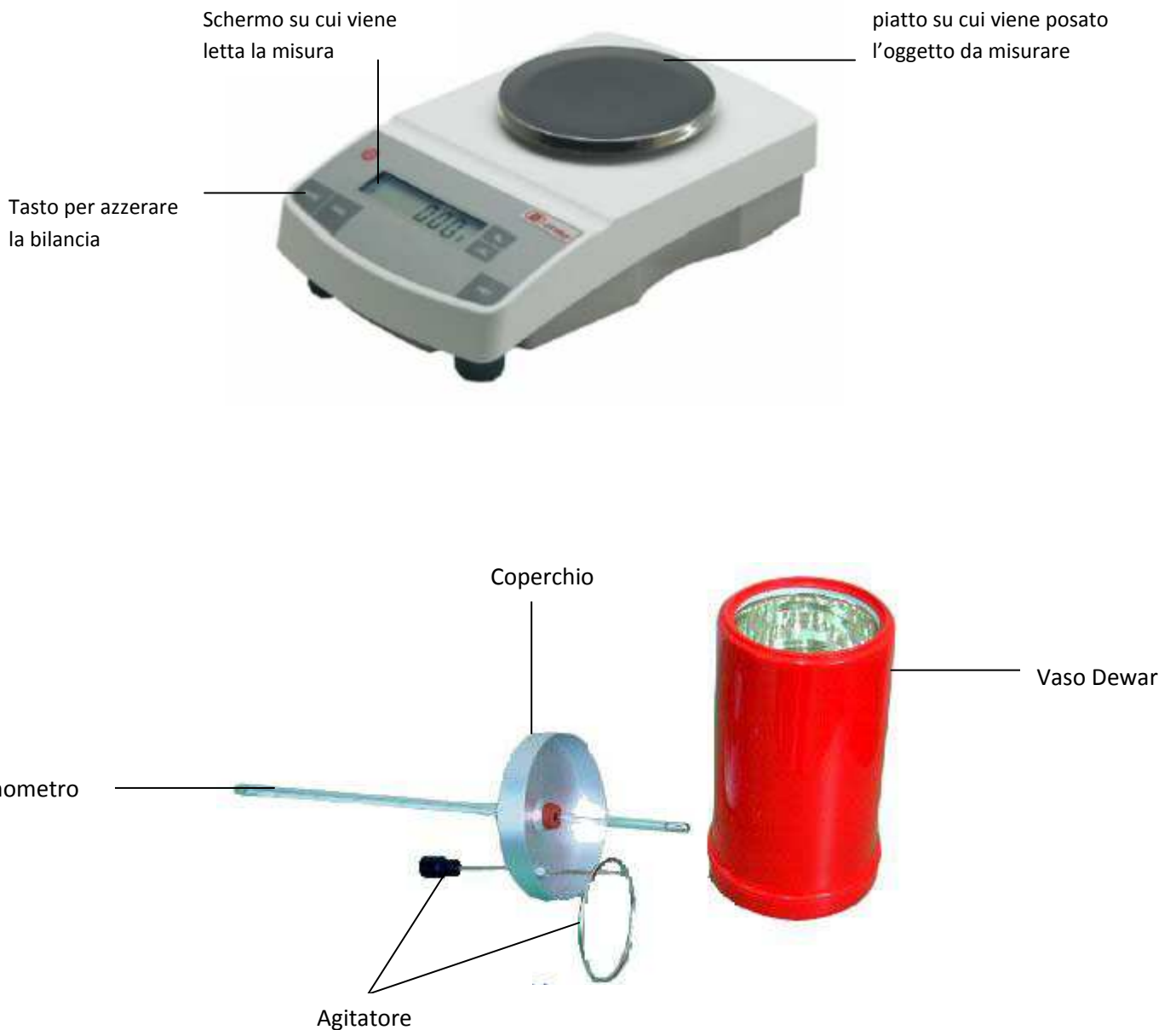
Quindi abbiamo atteso la sosta termica di fusione del ghiaccio e abbiamo misurato la temperatura, attraverso il termometro di cui eravamo dotati.

Poi abbiamo calcolato attraverso l'equazione del bilanciamento termico il calore latente di fusione del ghiaccio, che era lo scopo di questa esperienza.

Infine, per verificare la validità dei nostri calcoli, e dell'intera sperimentazione, abbiamo calcolato lo scarto percentuale fra il valore di λ da noi trovato e quello misurato in laboratori universitari con strumentazioni più precise e sofisticate:

$$\text{scarto percentuale} = \frac{\text{val.max} - \text{val.min}}{\text{val.max}} \times 100$$

Nelle seguenti immagini sono rappresentati alcuni degli strumenti usati in questa esperienza.



ELABORAZIONE DEI DATI

I seguenti sono i calcoli che abbiamo eseguito in questa esperienza.

PROVA # 1

Abbiamo raccolto tutti i dati necessari:

$$T_1 = 20^\circ \text{C} \quad m_1 = 0,4 \text{ kg}$$

$$T_2 = 0^\circ \text{C} \quad m_2 = 0,01845 \text{ kg}$$

$$T_f = 16^\circ \text{C} \quad m_{eq} = 50 \text{ g}$$

Abbiamo applicato l'equazione del calore, inserendo i dati:

$$m_1 c_{acq}(T_1 - t_f) + m_{eq} c_{acq}(T_1 - t_f) = m_2 \lambda_{fus} + m_2 c_{acq}(t_f - T_2)$$

$$0,4 \text{ kg} \times 4186 \text{ J/kg}^\circ \text{C} (20^\circ \text{C} - 16^\circ \text{C}) + 0,050 \text{ kg} \times 4186 \text{ J/kg}^\circ \text{C} (20^\circ \text{C} - 16^\circ \text{C}) = 0,01845 \lambda_{fus} + 0,01845 \times 4186 \text{ J/kg}^\circ \text{C} (16^\circ \text{C} - 0^\circ \text{C})$$

$$6697,6 \text{ J} + 837,2 \text{ J} = 0,01845 \lambda_{fus} + 463,3902 \text{ J}$$

$$\underline{0,01845 \text{ kg} \lambda_{fus} = 7071,4098 \text{ J}}$$

$$0,01845 \text{ kg} \quad 0,01845 \text{ Kg}$$

$$\lambda_{fus} = 383274,244 \text{ J/kg}$$

PROVA # 2

Abbiamo raccolto tutti i dati necessari:

$$T_1 = 20^\circ \text{C} \quad m_1 = 0,4 \text{ kg}$$

$$T_2 = 0^\circ \text{C} \quad m_2 = 0,01110 \text{ kg}$$

$$T_f = 17^\circ \text{C} \quad m_{eq} = 50 \text{ g}$$

Abbiamo applicato l'equazione del calore, inserendo i dati:

$$m_1 c_{acq}(T_1 - t_f) + m_{eq} c_{acq}(T_1 - t_f) = m_2 \lambda_{fus} + m_2 c_{acq}(t_f - T_2)$$

$$0,4 \text{ kg} \times 4186 \text{ J/kg}^\circ \text{C} (20^\circ \text{C} - 17^\circ \text{C}) + 0,050 \text{ kg} \times 4186 \text{ J/kg}^\circ \text{C} (20^\circ \text{C} - 17^\circ \text{C}) = 0,01110 \lambda_{fus} + 0,01110 \times 4186 \text{ J/kg}^\circ \text{C} (17^\circ \text{C} - 0^\circ \text{C})$$

$$5023,2 \text{ J} + 627,9 \text{ J} = 0,01110 \lambda_{fus} + 789,8982 \text{ J}$$

$$\underline{0,01110 \text{ kg} \lambda_{fus} = 4861,2018 \text{ J}}$$

$$0,01110 \text{ Kg} \quad 0,01110 \text{ Kg}$$

$$\lambda_{fus} = 437946,11 \text{ J/kg}$$

media fra i valori: $\frac{437946,11+383274,244}{2} = 410610,176$

2

scarto percentuale: $\frac{410610,176-334000}{410610,176} \times 100 = 18,6\%$

410610,176

CONCLUSIONI

In questa esperienza abbiamo calcolato il calore latente di fusione del ghiaccio, sempre entro un margine di errore. Nei calcoli effettuati, infatti, c'è da notare che il calore specifico dell'acqua è approssimato; noi abbiamo infatti utilizzato acqua di rubinetto, e non acqua distillata. In più il ghiaccio, nel momento in cui veniva immesso nel calorimetro, non si trovava esattamente alla temperatura di 0°C; noi infatti ci siamo basati, per calcolare la sua temperatura, sul fatto che il ghiaccio a 0°C inizia a fondere, ma essendo il nostro laboratorio al di sopra del livello del mare, ed essendoci quindi un minor pressione atmosferica, la fusione avviene prima.