

# Laboratorio di Fisica 1

## R8: Taratura di una termocoppia

Gruppo 15: Bergamaschi Riccardo, Moglia Simone, Graiani Elia

30/04/2024 – 07/05/2024

### Sommario

Il gruppo di lavoro ha determinato la curva di calibrazione di una termocoppia sfruttando punti fissi, ovvero temperature note, di svariate sostanze chimiche.

## 0 Materiali e strumenti di misura utilizzati

Strumento di misura	Soglia	Portata	Sensibilità
Termocoppia (tipo K)	$-6.03\text{ mV}$	$50.64\text{ mV}$	$0.01\text{ mV}$
Cronometro	$0.01\text{ s}$	N./A.	$0.01\text{ s}$
Termometro ambientale	$-10.0\text{ }^{\circ}\text{C?}$	$50.64\text{ }^{\circ}\text{C?}$	$0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$
Altro	Descrizione/Note		
Campioni di sostanze chimiche	Azoto liquido, acqua distillata, etanolo, gallio, e indio.		
Amplificatore di voltaggio	Amplifica di un fattore 100 il voltaggio rilevato dalla termocoppia, rendendo possibile l'acquisizione dati.		
Fornelletto e pentolino	Per scaldare i campioni.		
Cacciavite	Utilizzato per collegare la termocoppia all'interfaccia.		
Guanto da forno, pinzette, presine e contenitori isolanti	Per maneggiare i campioni in sicurezza.		

## 1 Esperienza e procedimento di misura

0. Posizioniamo una giunzione della termocoppia (che d'ora in poi indicheremo come "giunzione fissa") in un miscuglio di acqua distillata (solida e liquida) alla temperatura costante di  $(273.1 \pm 0.1)$  K.
1. Per ogni punto fisso, individuiamo il voltaggio  $\Delta V$  misurato dalla termocoppia, con la giunzione libera immersa nel campione, quando quest'ultimo effettua la transizione di fase. Tale fenomeno è individuabile nel grafico di  $\Delta V$  in funzione del tempo in quanto si presenta come un plateau: la temperatura è infatti costante fino al termine della transizione di fase.
2. Dopo ogni acquisizione, misuriamo la temperatura ambiente con il termometro ambientale, per assicurarci che non sia variata (al netto della sensibilità dello strumento). Per tutte le acquisizioni, abbiamo rilevato  $(21.0 \pm 0.5)^\circ\text{C} = (294.1 \pm 0.5)$  K

Di seguito indichiamo i passaggi necessari, caso per caso, al raggiungimento dei diversi punti fissi, unitamente alle rispettive temperature (note a priori).

### Acqua (fusione) e azoto (ebollizione)

**Temperature:** rispettivamente,  $(273.1 \pm 0.1)$  K e  $(77.3 \pm 0.1)$  K

Data la considerevole quantità di ghiaccio e azoto liquido ed essendo entrambe le temperature di transizione di fase minori della temperatura ambiente, i passaggi di stato avvengono spontaneamente e per lungo tempo.

Questo ha permesso al gruppo di lavoro, in entrambi i casi, di inserire direttamente la giunzione nella miscela tra le due fasi, senza la necessità di svolgere passaggi ulteriori.

### Acqua (ebollizione)

**Temperatura:**  $(373.1 \pm 0.1)$  K

L'unica differenza con il caso precedente è la spontaneità della transizione di fase: il gruppo di lavoro ha pertanto, preliminarmente, portato a bollire una considerevole quantità d'acqua distillata, scaldandola nel pentolino.

È stato poi sufficiente immergere la giunzione nell'acqua in ebollizione.

## **Etanolo, indio e gallio (fusione)**

**Temperature:** rispettivamente,  $(158.8 \pm 0.1)$  K,  $(302.9 \pm 0.1)$  K e  $(429.7 \pm 0.1)$  K

A differenza dei precedenti, in questi casi i campioni hanno massa relativamente ridotta, per cui la transizione di fase è breve. È necessario dunque svolgere i seguenti passaggi:

1. Per prima cosa, se il campione non era già allo stato liquido (è il caso di indio e gallio), lo abbiamo portato alla fusione una prima volta fornendogli calore.
2. Con il campione in fase liquida, è stato possibile immergervi completamente la giunzione libera della termocoppia, per poi portare il tutto alla solidificazione sottraendo calore al sistema.
3. Soltanto a questo punto è stato possibile portare nuovamente il campione al punto di fusione, dopo aver avviato l'acquisizione dati.

L'indio è stato scaldato in un crogiolo, a contatto con il fornello; il gallio, invece, è stato scaldato a bagnomaria, ovvero immerso nel pentolino pieno d'acqua. Entrambi sono stati invece raffreddati semplicemente lasciandoli riposare a temperatura ambiente.

L'etanolo, al contrario, essendo liquido a  $(294.1 \pm 0.5)$  K, è stato raffreddato immergendolo nell'azoto liquido e riscaldato lasciandolo riposare a temperatura ambiente.

## **2 Analisi dei dati raccolti e conclusioni**

### **2.1 Calcolo del momento d'inerzia del campione**

Essendo il momento d'inerzia additivo, abbiamo calcolato  $I_{CM}$  sommando i singoli momenti d'inerzia rispetto al comune asse di simmetria dei cilindri e dei tronchi di cono che compongono il campione, dove la massa di ciascuno di essi è stata facilmente calcolata assumendo la densità del campione uniforme. Di seguito riportiamo tali misure:

#	Forma	$h$ (mm)	$d_{1,2}$ (mm)	$I$ ( $10^{-6}$ kg m <sup>2</sup> )
1	Cilindro	$30.45 \pm 0.05$	$49.90 \pm 0.05$	$154.6 \pm 1.8$
2	Tronco di cono	$5.95 \pm 0.10$	$49.90 \pm 0.05$ $29.40 \pm 0.05$	$13.7 \pm 0.5$
3	Cilindro	$9.20 \pm 0.10$	$25.85 \pm 0.05$	$3.36 \pm 0.08$
4	Cilindro	$10.80 \pm 0.05$	$18.65 \pm 0.05$	$1.07 \pm 0.02$
5	Tronco di cono	$4.25 \pm 0.05$	$34.55 \pm 0.05$ $49.90 \pm 0.05$	$11.8 \pm 0.4$
6	Cilindro	$52.95 \pm 0.05$	$49.90 \pm 0.05$	$269 \pm 3$
7	Tronco di cono	$4.25 \pm 0.05$	$49.90 \pm 0.05$ $36.35 \pm 0.05$	$12.6 \pm 0.4$
8	Cilindro	$10.80 \pm 0.05$	$18.75 \pm 0.05$	$1.09 \pm 0.02$
9	Cilindro	$9.25 \pm 0.10$	$25.90 \pm 0.05$	$3.41 \pm 0.08$
10	Tronco di cono	$5.95 \pm 0.10$	$29.10 \pm 0.05$ $49.90 \pm 0.05$	$13.5 \pm 0.5$
11	Cilindro	$30.40 \pm 0.05$	$49.90 \pm 0.05$	$154.4 \pm 1.8$

- Massa totale:  $M = (2214.57 \pm 0.01)$  g
- Volume totale:  $V = (2.654 \pm 0.017) \cdot 10^{-4}$  m<sup>3</sup>
- Densità media:  $\rho = (8.34 \pm 0.05) \cdot 10^{-3}$  kg/m<sup>3</sup>
- Momento d'inerzia totale:  $I_{CM} = (6.38 \pm 0.09) \cdot 10^{-4}$  kg m<sup>2</sup>

## 2.2 Distribuzione dei tempi di caduta

Riportiamo di seguito i grafici della distribuzione dei tempi di caduta  $t_{L,\theta}$ , accompagnati alle relative misure di  $L$  e  $\theta$ .

## 2.3 Calcolo di $g$ mediante la dinamica del corpo rigido

Fissato un sistema di riferimento cartesiano ortogonale solidale al piano inclinato, con origine nel punto di partenza del campione, asse  $x$  parallelo alle guide e asse  $y$  entrante nel piano inclinato, possiamo scrivere la legge del moto del centro di massa e le equazioni cardinali della dinamica del corpo rigido:

$$x_{CM}(t) = \frac{1}{2} a_{CM} t^2$$

$$\begin{cases} Mg \sin \theta - F_s = Ma_{\text{CM}} \\ Mg \cos \theta - F_n = 0 \\ RMg \sin \theta = (I_{\text{CM}} + MR^2) \alpha \end{cases}$$

dove  $R$  è il raggio di contatto,  $\vec{F}_s$  è la forza di attrito statico tra il campione e le guide, mentre  $\vec{F}_n$  è la reazione vincolare delle guide, normale al piano.

Per poter descrivere il moto del campione come di rotolamento puro, dobbiamo assicurarci che  $F_s \leq \mu_s F_n$ , con  $\mu_s$  il coefficiente di attrito statico tra il corpo rigido e le guide. Se questa condizione è verificata, possiamo utilizzare la relazione:

$$\alpha = \frac{a_{\text{CM}}}{R}$$

Risolvendo il sistema lineare e la disequazione di cui sopra si ottiene:

$$\begin{cases} a_{\text{CM}} = \frac{MR^2}{I_{\text{CM}} + MR^2} g \sin \theta \\ F_n = Mg \cos \theta \\ F_s = \frac{I}{I + MR^2} Mg \sin \theta \\ 0 \leq \alpha \leq \arctan \left( \mu_s \left( \frac{MR^2}{I_{\text{CM}}} + 1 \right) \right) \end{cases}$$

Ricordando ora che  $L = x_{\text{CM}}(\bar{t}_{L,\theta}) + D + S$ , dove  $D$  è il diametro più esterno del campione e  $S$  è lo spessore del cuscinetto, possiamo ricavare:

$$\frac{2(L - D - S)}{\sin \theta} \left( \frac{I_{\text{CM}}}{MR^2} + 1 \right) = g \cdot \bar{t}_{L,\theta}^2$$

Possiamo pertanto determinare il modulo di  $\vec{g}$  mediante una regressione lineare pesata<sup>1</sup>:

*In rosso la retta di regressione, in rosa la sua regione di incertezza. Nel grafico principale, le barre di errore lungo l'ascissa, date le loro dimensioni, non sono visibili.*

Di seguito riportiamo i risultati della regressione lineare:

- Coefficiente angolare ( $g$ ) =  $(9.9 \pm 0.5) \text{ m/s}^2$
- Intercetta =  $(0 \pm 3) \text{ m}$  (compatibile con 0, come ci si aspettava)

---

<sup>1</sup>La scelta di una regressione lineare *pesata* è giustificata dal fatto che gli errori sull'ascissa, per quanto ridotti, sono diversi fra di loro.