Laboratorio di Fisica 1
R8: Taratura di una termocoppia

Gruppo 17: Bergamaschi Riccardo, Graiani Elia, Moglia Simone

30/04/2024 – 07/05/2024

Sommario

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

0 Materiali e strumenti di misura utilizzati

Strumento di misura	**Soglia**	**Portata**	**Sensibilità**
Termocoppia (tipo K)	1 mV?	99 999 999 mV?	1 mV

Altro	**Descrizione/Note**
Sostanze chimiche	Azoto, etanolo, ghiaccio, gallio, acqua e indio.
Fornelletto e pentolino	Per scaldare i composti.

1 Esperienza e procedimento di misura

1. Immergiamo anche la seconda giunzione nel bagno di acqua e ghiaccio e leggiamo la ddp prodotta.
2. Inseriamo la giunzione nel contenitore dell'azoto liquido ed osserviamo la ddp prodotta.
3. Versiamo acqua distillata in un pentolino e la facciamo bollire; una volta raggiunto il bollore, inseriamo la giunzione nell'acqua per ricavare la ddp prodotta.
4. Inseriamo nell'azoto liquido una provetta contenente etanolo liquido in modo da farlo solidificare: estratta la provetta, rileviamo la ddp quando l'etanolo fonde.
5. Mettiamo il crogiolo di indio a scaldare a bagnomaria nel pentolino; una volta fuso vi inseriamo la giunzione ed lo facciamo raffreddare "naturalmente?", misurando la ddp durante la solidificazione.

6. Facciamo fondere il gallio nel pentolino, per poi immergerlo nell'azoto liquido e scaldarlo nuovamente nel pentolino, leggendo la ddp durante la fusione.

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^2)
1	Cilindro	30.45 ± 0.05	49.90 ± 0.05	154.6 ± 1.8
2	Tronco di cono	5.95 ± 0.10	49.90 ± 0.05 29.40 ± 0.05	13.7 ± 0.5
3	Cilindro	9.20 ± 0.10	25.85 ± 0.05	3.36 ± 0.08
4	Cilindro	10.80 ± 0.05	18.65 ± 0.05	1.07 ± 0.02
5	Tronco di cono	4.25 ± 0.05	34.55 ± 0.05 49.90 ± 0.05	11.8 ± 0.4
6	Cilindro	52.95 ± 0.05	49.90 ± 0.05	269 ± 3
7	Tronco di cono	4.25 ± 0.05	49.90 ± 0.05 36.35 ± 0.05	12.6 ± 0.4
8	Cilindro	10.80 ± 0.05	18.75 ± 0.05	1.09 ± 0.02
9	Cilindro	9.25 ± 0.10	25.90 ± 0.05	3.41 ± 0.08
10	Tronco di cono	5.95 ± 0.10	29.10 ± 0.05 49.90 ± 0.05	13.5 ± 0.5
11	Cilindro	30.40 ± 0.05	49.90 ± 0.05	154.4 ± 1.8

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

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 θ.

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:

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

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

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 μ_s il coefficiente di attrito statico tra il corpo rigido e le guide. Se questa condizione è verificata, possiamo utilizzare la relazione:

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

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

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

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

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

Possiamo pertanto determinare il modulo di $\vec{g}$ mediante una regressione lineare pesata[1]:

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

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