

LABORATORIO DI FISICA SPERIMENTALE  
Ingegneria meccanica  
A.A. 2022-2023



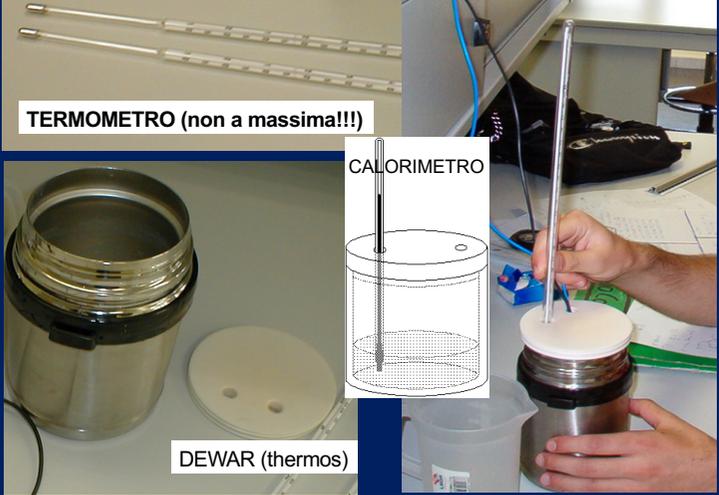
Sesta esperienza:  
calore specifico dell'acqua  
costante di tempo di un termometro  
studio di una trasformazione isoterma

lasciare il tavolo di laboratorio in ordine, pulito  
e asciutto!!!




1

LA STRUMENTAZIONE PER QUESTA ESPERIENZA



TERMOMETRO (non a massima!!!)

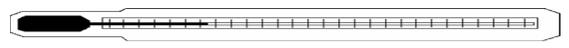
CALORIMETRO

DEWAR (thermos)

2

CONDUCIBILITA' TERMICA  $\lambda$       CAPACITA' TERMICA  $C$

In un termometro a liquido il calore deve fluire attraverso il vetro del bulbo per arrivare al liquido e innalzarne la temperatura. Questo passaggio richiede tempo



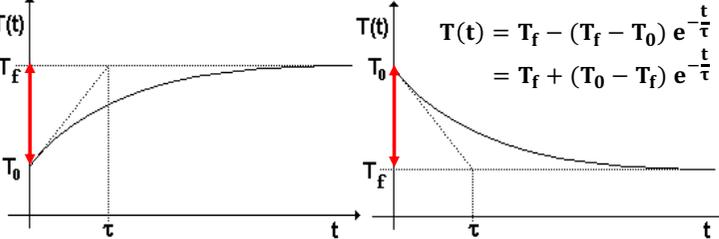
$\tau = Cd/\lambda S$  costante di tempo del termometro  
C: capacit  termica del liquido  
d: spessore del vetro  
S: superficie del vetro  
 $\lambda$  : coefficiente di conducibilit  termica del vetro

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{\lambda S}{d}(T - T_f) \quad C = \frac{Q}{\Delta T} \rightarrow C = \frac{dQ}{dT}$$

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{\lambda S}{Cd}(T - T_f) \quad \frac{dT}{dt} = -\frac{(T - T_f)}{\tau} \quad \frac{dT}{T - T_f} = -\frac{dt}{\tau}$$

3

$T_0 < T_f \rightarrow T(t) = T_f - (T_f - T_0) e^{-t/\tau}$



$T(t) = T_f - (T_f - T_0) e^{-\frac{t}{\tau}}$   
 $= T_f + (T_0 - T_f) e^{-\frac{t}{\tau}}$

il termometro deve essere "pronto"  $\rightarrow \tau$  di qualche secondo

4

### E SE LA TEMPERATURA $T_f$ DA MISURARE VARIASSE?

p.es. se la temperatura  $T_f$  variasse linearmente nel tempo:  $T_f = T_0 + \gamma t$  si avrebbe

$$T(t) = T_0 + \gamma (t - \tau) + \gamma \tau e^{-t/\tau}$$

il termometro non indica istante per istante il valore  $T_f = T_0 + \gamma t$  ma, dopo alcune costanti di tempo, il termine  $\gamma \tau e^{-t/\tau}$  si annulla fornendo il valore corretto (con un ritardo pari a  $\tau$ ):

$$T(t) = T_0 + \gamma (t - \tau) = T_f - \gamma \tau$$

5

### COME VARIARE LA TEMPERATURA?

effetto Joule: una resistenza  $R$  percorsa da una corrente  $I = V/R$  dissipa una potenza  $W = R I^2$  trasformandola in calore  $Q = W t$  con  $W = V I$

ENERGIA = POTENZA x TEMPO (quasi)

$$1 W = 1 V \times 1 A$$

una resistenza percorsa da corrente si scalda

AT4VD ALIMENTATORE DIGITALE REGOLABILE STABILIZZATO  
AT4VD ADJUSTABLE OUTPUT STABILIZED POWER SUPPLY

Tensione alimentazione Voltage supply	230Vac 50-60Hz $\pm 10\%$
Tensione uscita stabilizzata Output stabilized voltage	1-30Vdc
Corrente di uscita massima Max output current	4A (22Vdc)
Ripple	20mV
Raffreddamento Cooling	Convezione forzata Forced air convection
Protezione di rete Input protection	Fusibile Fuse
Protezione di uscita Output protection	Elettronica Electronic

6

### 1) CALORE SPECIFICO DELL'ACQUA (raccolta dati)

- misurare la massa d'acqua ( $1 \text{ cm}^3 \rightarrow 1 \text{ g}$ ) nel bicchiere graduato
- versare l'acqua nel dewar
- chiudere il coperchio
- inserire il termometro
- impostare il generatore a 30 V (all'accensione si ridurrà a circa 28 V)

- far partire il cronometro** mentre si accende l'alimentatore e **NON ARRESTARLO** fino alla fine della raccolta dati

Raccolta dati (**NON AGITARE TERMOMETRO E DEWAR**)

- annotare i tempi corrispondenti a: 25 30 35 40 45 50 55 60 °C
- ogni 10 minuti verificare tensione e corrente  $\rightarrow$  potenza costante

Al termine (60°C) spegnere l'alimentatore, ma **NON svuotare il dewar** Rimandare l'elaborazione dati per passare al punto successivo (serve acqua calda!)

7

### 2) COSTANTE DI TEMPO DEL TERMOMETRO (raccolta dati)

Versare nel bicchiere graduato dell'acqua fredda (poco più di metà)  
Sfilare il termometro dal dewar per misurare la temperatura dell'acqua fredda  
Registrare la temperatura dell'acqua fredda  $T_f$

- Inserire nuovamente il termometro nel dewar
- Verificare che la temperatura sia ancora  $T_n > 40^\circ\text{C}$
- Inserire il termometro nell'acqua fredda
- Misurare il tempo necessario affinché la temperatura passi da  $40^\circ\text{C}$  a  $30^\circ\text{C}$   
Registrare il tempo  $\Delta t$  misurato
- Tornare al punto 1) per **ottenere 10 misure di  $\Delta t$**  e calcolarne la **media**
- Alla fine misurare nuovamente la temperatura dell'acqua fredda  $T_f''$

$$T_{30} - T_f = (T_{40} - T_f) e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}$$

$$\tau = \frac{\Delta t}{\ln\left(\frac{T_{40} - T_f}{T_{30} - T_f}\right)}$$

DOPO

$$T_f = \frac{T_f' + T_f''}{2}$$

8

### ELABORAZIONI DATI

#### 1) CALORE SPECIFICO DELL'ACQUA

$W = VI = dQ/dt \quad dQ = c m dT$   
 $\rightarrow VI = c m dT/dt \rightarrow c = V I / (m dT/dt)$

Graficare (excel) T vs t. Ricavare c dalla pendenza  $dT/dt$  del tratto lineare (attenzione alle unità di misura: 1 min = 60 s)

$c = 4,2 \text{ kJ}/(\text{kg K})$ ? calcolare lo scarto relativo

#### 2) COSTANTE DI TEMPO DEL TERMOMETRO

Calcolare la media aritmetica  $\overline{\Delta t}$  delle 10 misure di  $\Delta t$

$$T_f = \frac{T'_f + T''_f}{2}$$

$$\tau = \frac{\overline{\Delta t}}{\ln\left(\frac{T_{40} - T_f}{T_{30} - T_f}\right)}$$

$\tau = 5 - 8 \text{ s}?$

9

### SENSORI PER QUESTA ESPERIENZA: PRESSIONE

$P = \frac{F}{S}$

$1 \text{ pascal} = \frac{1 \text{ newton}}{1 \text{ metro}^2}$

$1 \text{ Pa} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}^2}$

Range	0 kPa to 700 kPa
Accuracy	±2 kPa
Resolution	0.01 kPa
Maximum sample rate	200 samples per second
Repeatability	1 kPa
Operating temperature	0° C to 40° C

Il sensore utilizza un trasduttore piezoresistivo in cui varia la resistenza di una sottilissima membrana di silicio monocristallino quando è deformata dalla forza originata dalla differenza fra la pressione esterna e quella di una capsula interna sigillata contenente gas a bassissima pressione

10

### 1) TRASFORMAZIONE ISOTERMA (LEGGE DI BOYLE)

aria a pressione atmosferica

$V_1$   $P_{ATM}$   $GAS$

$V_2$   $P_{ATM} + \Delta P$   $\Delta P = \rho g h$

esperimento di Boyle

11

### 1) TRASFORMAZIONE ISOTERMA (LEGGE DI BOYLE)

Se P aumenta V diminuisce... COME?

Boyle:  **$P V = \text{cost}$**   
 (a temperatura costante)

legge dei gas perfetti:  
 **$P V = n R T$**

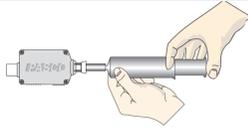
T: temperatura assoluta (kelvin)  
 $T[\text{K}] = t[^\circ\text{C}] + 273,15 \text{ K}$

n: numero di moli  
 $R = 8,31 \text{ J}/(\text{K mol})$

12

**TRASFORMAZIONE ISOTERMA (LEGGE DI BOYLE)**

METODOLOGIA: misurare la pressione dell'aria all'interno di una siringa mentre ne viene variato **lentamente** il volume



Con buona approssimazione si può assumere che la temperatura dell'aria contenuta non vari (isoterma) e sia pari a quella ambiente

**Il volume  $V$  di aria è in parte nella siringa  $V_s$  e in parte nel tubo  $V_T$**

$$P V = P (V_s + V_T) = n R T \quad \rightarrow \quad \underset{Y}{P} \underset{X}{V_s} = -V_T \underset{X}{P} + n R T$$

$$p = -V_T \quad q = n R T$$

$$P V = n R T$$

13

**TRASFORMAZIONE ISOTERMA (LEGGE DI BOYLE)****Raccolta dati 1:**

- **staccare dal sensore** il tubicino che lo collega alla siringa (premere e ruotare il connettore)
- aprire la siringa fino ad avere un volume iniziale di  $20 \text{ cm}^3$
- riconnettere il sensore alla siringa
- con il sistema di acquisizione (p.es. visore digitale) misurare la pressione  $P$  (in chilopascal, apprezzando il decimo di kPa) al variare del volume  $V_s$  della siringa **da  $20 \text{ cm}^3$  a  $2 \text{ cm}^3$**  passando per successivi stati di equilibrio con variazioni di volume di  $2 \text{ cm}^3$
- raccogliere in una tabella excel i valori di  $V_s$ ,  $P$  e far calcolare  $P V_s$
- graficare (excel)  $P$  vs  $V_s$  (iperbole)
- graficare  $P V_s$  vs  $P$  (retta; ricavare i parametri con LabCalc)

**Determinare il volume del tubicino e il numero di moli  $n$** 

$$p = -V_T \quad q = n R T \quad R = 8,31 \text{ J/(K mol)} \quad T = 300 \text{ K}$$

$$1 \text{ ml} = 1 \text{ cc} = 1 \text{ cm}^3$$

14

**TRASFORMAZIONE ISOTERMA (LEGGE DI BOYLE)****Raccolta dati 2:**

- staccare il tubicino dal sensore, portare la siringa a un volume iniziale di  $10 \text{ cm}^3$  e riattaccare il tubicino
- ripetere le misure di pressione come prima al variare del volume della siringa  $V_s$  da  $10 \text{ cm}^3$  a  $2 \text{ cm}^3$
- graficare nuovamente  $P V_s$  vs  $P$
- ricavare nuovamente il volume del tubicino e il numero di moli del sistema ( $p = -V_T$   $q = n R T$  ottenuti con LabCalc)

**$V_T$  è cambiato? E il numero di moli?**

15

LABORATORIO DI FISICA SPERIMENTALE

Ingegneria meccanica

A.A. 2022-2023

svuotare il dewar e il contenitore

lasciare il tavolo in ordine, pulito e asciutto!!!

Verbalizzazione (se idonei e prenotati su infostud) **5 giugno**

laboratorio didattico di Fisica

16