

<http://www.sbai.uniroma1.it/sciubba-adalberto/laboratorio-di-fisica-sperimentale/2017-2018>

# Laboratorio di fisica sperimentale

[adalberto.sciubba@uniroma1.it](mailto:adalberto.sciubba@uniroma1.it)

Ingegneria meccanica



## LABORATORIO DI FISICA SPERIMENTALE

Ingegneria meccanica

A.A. 2017-2018

Decima esperienza:  
calore specifico dell'acqua  
studio di costanti di tempo



lasciate il tavolo di laboratorio in ordine e pulito;  
ne siete responsabili (anche della strumentazione)





### TERMOMETRO A LIQUIDO



è costituito da un contenitore di vetro (il **bulbo**, sensore) con un liquido il cui volume varia con la temperatura (trasduttore temperatura-volume).

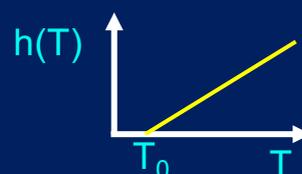
Per amplificare la risposta il liquido viene fatto dilatare all'interno di un **capillare** di sezione  $s$  (trasduttore volume-lunghezza).

L'indice dello strumento è costituito dall'**altezza** della colonna di mercurio all'interno del capillare.

A temperatura  $T_0$  tutto il mercurio è contenuto nel volume del bulbo  $V(T_0) = V_B$ ; a temperatura  $T$  esso occupa anche un tratto di altezza  $h(T)$  del capillare:  $V(T) = V_B + s h(T)$  [s sezione del capillare]

Dato il coefficiente di dilatazione cubica  $\beta_{Hg}$  ( $\beta_{Hg} = 1,8 \times 10^{-4}/K$ ),  
 $V(T) = V(T_0) [1 + \beta_{Hg} (T - T_0)] = V_B [1 + \beta_{Hg} (T - T_0)] = V_B + s h(T)$

**funzione di risposta**  
 del termometro  
 $h(T) = V_B \beta_{Hg} / s (T - T_0)$

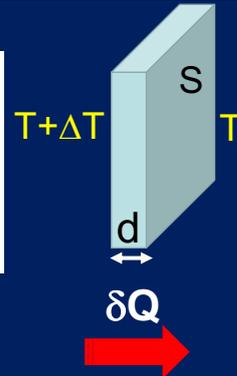


## CONDUCIBILITA' TERMICA

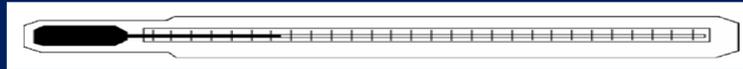
la quantità di calore  $\delta Q$  che nel tempo  $dt$  passa attraverso la superficie  $S$  di una parete spessa  $d$  di un materiale di conducibilità termica  $\lambda$  è:

$$\delta Q = -\lambda \frac{S}{d} \Delta T dt$$

$\Delta T$  differenza di temperatura fra le sue superfici

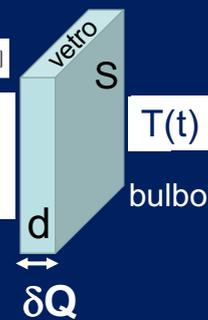


In un termometro a mercurio il calore deve fluire attraverso il vetro del bulbo per arrivare al liquido. Questo passaggio richiede tempo



## CONDUCIBILITA' TERMICA

Un termometro di capacità termica  $C = \delta Q/dT$ , inizialmente a temperatura  $T$ , viene messo a contatto con un corpo a temperatura  $T_f$ , p.es.  $T_f > T$



Si ha passaggio di calore **dal corpo (più caldo)** **al termometro (più freddo)** che indica la temperatura del bulbo

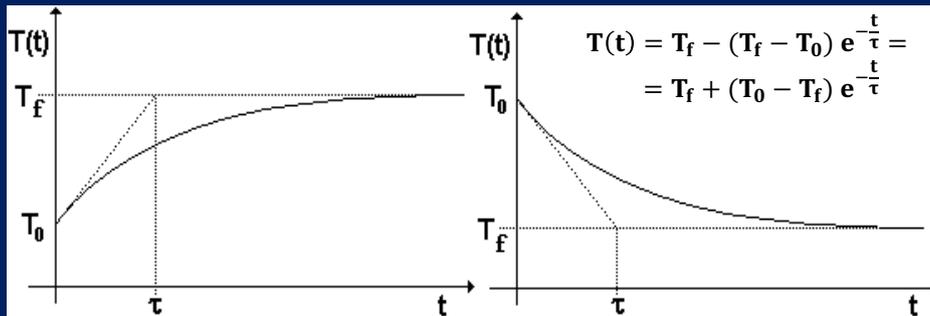
$\delta Q$  attraversa il vetro e aumenta la temperatura del mercurio ( $dT = \delta Q/C$ ) ma  $\delta Q = -\lambda \frac{S}{d} (T - T_f) dt \rightarrow T(t)$  sale dalla temperatura iniziale  $T_0$  arrivando a quella finale  $T_f$ ... come?

$$\delta Q = C dT = -\lambda S/d (T - T_f) dt$$

posto  $\tau = Cd/\lambda S$  costante di tempo del termometro  $\rightarrow$

$$dT = -1/\tau (T - T_f) dt$$

da cui  $\frac{dT}{T - T_f} = -\frac{dt}{\tau} \rightarrow T(t) = T_f - (T_f - T_0) e^{-\frac{t}{\tau}}$



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

### E IL DEWAR?

Il dewar limita gli scambi termici con l'esterno (pareti quasi adiabatiche)  
 $\rightarrow$  **costante di tempo molto grande (ore)**

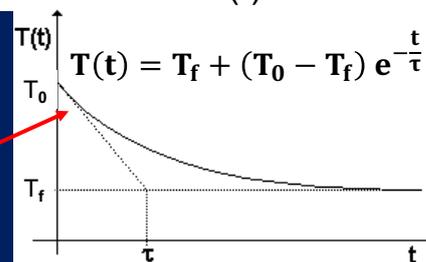
Inizialmente la temperatura nel dewar è  $T_0$  e all'esterno (ambiente) è  $T_f$ , la temperatura nel dewar  $T(t)$  varia:

i tempi delle misure in laboratorio sono  $t \ll \tau \rightarrow$

$$e^{-\frac{t}{\tau}} \approx 1 - \frac{t}{\tau} + \dots$$

$$T(t) = T_f + (T_0 - T_f) \left(1 - \frac{t}{\tau}\right) = T_0 - \frac{T_0 - T_f}{\tau} t$$

cioè  $T(t)$  è una retta con pendenza  $p = -\frac{T_0 - T_f}{\tau}$



**E SE LA TEMPERATURA DA MISURARE VARIASSE?**

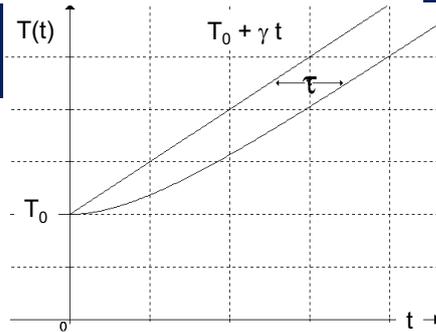
$$dT = - 1/\tau (T-T_f) dt$$

se la temperatura  $T_f$  variasse linearmente nel tempo:

$T_f = T_0 + \gamma t$  la soluzione dell'equazione differenziale

$$\frac{dT}{dt} + \frac{T}{\tau} = \frac{T_f}{\tau} \text{ sarebbe: } T(t) = T_0 + \gamma (t - \tau) + \gamma \tau e^{-t/\tau}$$

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  $\tau$ )



**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  $W = V I$

*AT4VD ALIMENTATORE DIGITALE REGOLABILE STABILIZZATO  
AT4VD ADJUSTABLE OUTPUT STABILIZED POWER SUPPLY*

Tensione alimentazione Voltage supply	230Vac 50-60Hz ±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

- **CALORE SPECIFICO DELL'ACQUA**
- **COSTANTE DI TEMPO DEL TERMOMETRO**
- **COSTANTE DI TEMPO DEL CALORIMETRO**

ALTERNEREMO LE RACCOLTE DATI ALLE LORO ELABORAZIONI

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

1. versare nel dewar 200-300 g di acqua prelevata col bicchiere graduato
2. riportare la misura nel quaderno
3. chiudere il coperchio
4. inserire il termometro
5. impostare il generatore a 30 V (all'accensione si ridurrà a circa 28 V)
6. 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**)

- a) annotare i tempi corrispondenti a: 25 30 35 40 45 50 55 60 °C
- b) all'inizio e ogni 5 minuti misurare tensione e corrente → potenza

Graficare le temperature man man che vengono raccolte (circa 30 minuti)

**spegnere l'alimentatore, NON svuotare il dewar**

**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

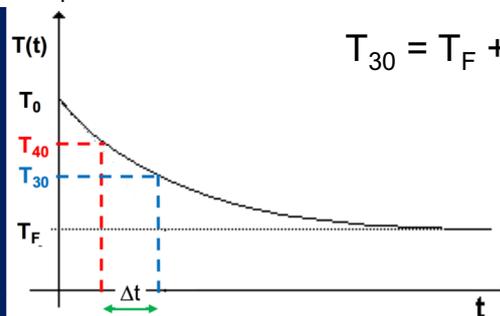
Riportare nel quaderno la temperatura dell'acqua fredda  $T_F$

- 1) Inserire nuovamente il termometro nel dewar
- 2) Misurare la temperatura e riportarla nel quaderno (se  $> 40^\circ\text{C}$ )
- 3) Inserire il termometro nell'acqua fredda
- 4) Misurare il tempo necessario affinché la temperatura passi da  $40^\circ\text{C}$  a  $30^\circ\text{C}$

Riportare sul quaderno il tempo  $\Delta t$  misurato

- 5) Tornare al punto 1) fino ad ottenere 10 misure di  $\tau$

Dopo la 5° misura e alla fine misurare la temperatura dell'acqua fredda  $T_F$



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

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

**COSTANTE DI TEMPO DEL CALORIMETRO (raccolta dati)**

Inserire il termometro nel dewar

Fino alle 12:30 leggere ogni 5 minuti la temperatura senza agitare il termometro

## ELABORAZIONI DATI

### 1) CALORE SPECIFICO DELL'ACQUA

$$W = VI = \delta Q / dt \quad \delta Q = c m dT \rightarrow W = c m dT / dt \rightarrow c = W / (m dT / dt)$$

- Ricavare dal grafico T vs t la pendenza  $dT/dt$  del tratto lineare
- Ricavare c (attenzione alle unità di misura: 1 cal = 4,18 J; 1 min = 60 s)

$$c = 4 \text{ kJ}/(\text{kg K}) ?$$

### 2) COSTANTE DI TEMPO DEL TERMOMETRO

Calcolare la media aritmetica delle 10 misure di  $\tau$  (circa 2-4 s)

### 3) COSTANTE DI TEMPO DEL CALORIMETRO

Graficare le misure T(t) vs t effettuate ogni 5 minuti  
Tracciare la retta e calcolarne la pendenza

**Sfilare il termometro dal dewar per misurare la temperatura dell'acqua nel bicchiere graduato (temperatura ambiente  $T_F$ )**

Calcolare la costante di tempo in ore  $p = -\frac{T_0 - T_F}{\tau}$

## LABORATORIO DI FISICA SPERIMENTALE

Ingegneria meccanica

A.A. 2017-2018



Svuotare il dewar



Chi vuole verbalizzare deve prenotarsi su INFOSTUD (anche oggi) e ritirare la ricevuta a partire da venerdì 15 giugno.

Chi non può verbalizzare deve comunicarlo oggi

