

**LABORATORIO DI FISICA SPERIMENTALE**  
Ingegneria meccanica

A.A. 2016-2017

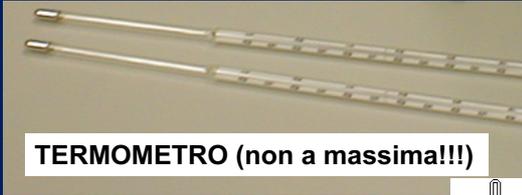
Ottava esperienza:  
calore specifico dell'acqua  
studio di costanti di tempo

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





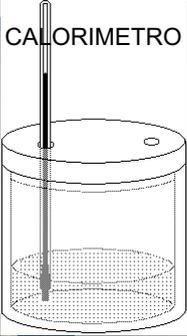
**LA STRUMENTAZIONE PER QUESTA ESPERIENZA**



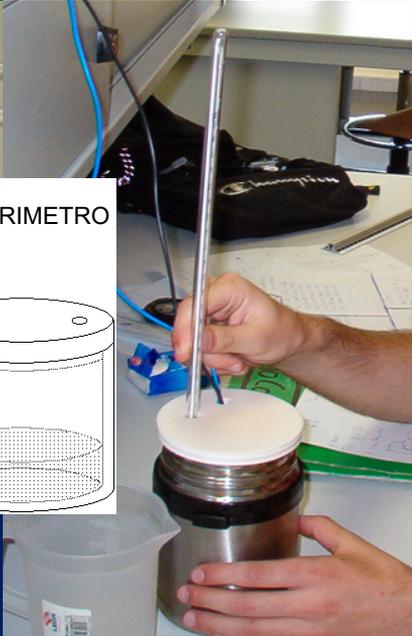
TERMOMETRO (non a massima!!!)



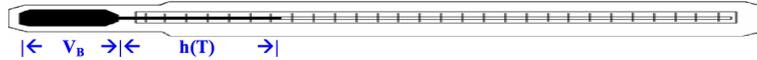
DEWAR (thermos)



CALORIMETRO



## 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 (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:

$V(T) = V_B + s h(T)$  dove  $s$  indica la sezione del capillare

Dato il coefficiente di dilatazione cubica  $\beta$  del mercurio ( $\beta = 1,8 \times 10^{-4}/K$ ), il suo volume è pari a  $V(T) = V(T_0) [1 + \beta (T - T_0)]$ .

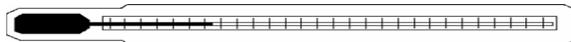
→ **funzione di risposta** del termometro  $h(T) = V_B \beta / s (T - T_0)$ .

## CONDUCIBILITA' TERMICA

La potenza termica  $P = \delta Q / dt$  è il calore che passa nell'unità di tempo attraverso la superficie di un determinato materiale.

Nel caso di una parete di superficie  $S$  e spessore  $d$ , alle cui estremità c'è un differenza di temperatura  $\Delta T$ , si ha:  $P = \delta Q / dt = -\lambda S / d \Delta T$  dove  $\lambda$  è la conducibilità termica del materiale [ $\delta Q = -\lambda S / d \Delta T dt$ ]

La capacità termica di un corpo è pari a  $C = \delta Q / dT$



Un termometro di capacità termica  $C$ , inizialmente a temperatura  $T_0$ , viene messo a contatto con un corpo a temperatura  $T_F$ , p.es.  $T_0 < T_F$ .

Si ha passaggio di calore **dal corpo (più caldo) al termometro (più freddo)**.

Il termometro indica la temperatura del bulbo: perché vari di  $dT$  deve assorbire una quantità di calore  $\delta Q = C dT$  dal corpo.

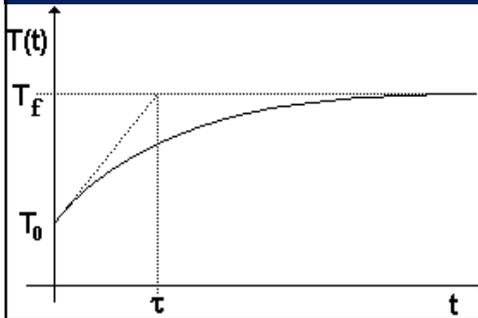
La quantità di calore che deve attraversare il vetro di superficie  $S$  e spessore  $d$  è:  $\delta Q = C dT = -\lambda S/d (T-T_F) dt$

posto  $\tau = Cd/\lambda S$  (costante di tempo del termometro), si ha:

$$\frac{dT}{dt} + \frac{T}{\tau} = \frac{T_F}{\tau} \quad \text{o, equivalentemente,} \quad \frac{dT}{T-T_F} = -\frac{dt}{\tau}$$

che, integrando da  $T_0$  a  $T(t)$ , fornisce l'indicazione del termometro all'istante  $t$ :

$$\ln\left(\frac{T-T_F}{T_0-T_F}\right) = -\frac{t}{\tau} \quad \text{da cui } T(t) = T_F - (T_F - T_0) e^{-\frac{t}{\tau}}$$



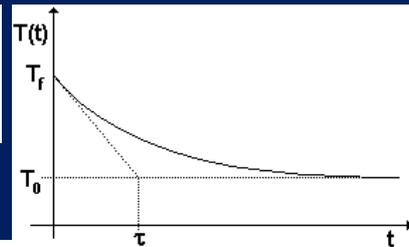
**Il termometro deve essere "pronto"  $\rightarrow \tau$  di qualche secondo**

**E IL DEWAR?**

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

Se all'inizio la temperatura all'interno del dewar è  $T_f$  mentre all'esterno è quella dell'ambiente  $T_0$ , l'evoluzione della temperatura nel dewar è:

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



Essendo i tempi delle misure in laboratorio  $t \ll \tau$ , l'andamento esponenziale diventa lineare:

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

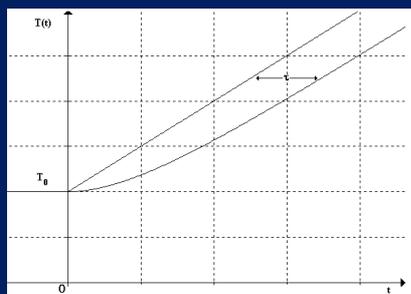
$$T(t) = T_0 + (T_f - T_0) \left(1 - \frac{t}{\tau}\right) = T_f - \frac{T_f - T_0}{\tau} t$$

Cioè un retta con pendenza  $p = -\frac{T_f - T_0}{\tau}$

## E SE LA TEMPERATURA DA MISURARE VARIASSE?

Se la temperatura  $T_F$  variasse linearmente nel tempo:  $T_F = T_0 + \gamma t$  la soluzione dell'equazione differenziale  $\frac{dT}{dt} + \frac{T}{\tau} = \frac{T_F}{\tau}$  sarebbe:

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



Ciò è se la temperatura varia linearmente 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 temporale 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 $\pm 10\%$
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

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

ALTERNEREMO LE RACCOLTE DATI ALLE LORO ELABORAZIONI

### **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
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.

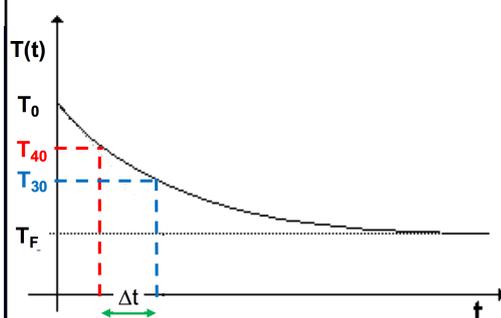
Graficare le temperature man man che vengono raccolte (circa 30 minuti)

**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) Aspettare che la lettura smetta di salire; riportare la temperatura 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  $\tau$



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

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

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

Inserire il termometro nel dewar  
Fino alle 11:30 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 6-8 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  $T_0$ )**

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

LABORATORIO DI FISICA SPERIMENTALE

Ingegneria meccanica

A.A. 2016-2017





a venerdì 12 maggio  
(ultima sessione)

