

TERMOMETRO A LIQUIDO



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

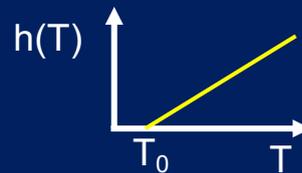
Per amplificare la risposta il liquido viene fatto dilatare all'interno di un **capillare** di sezione s (trasduttore volume-lunghezza).

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

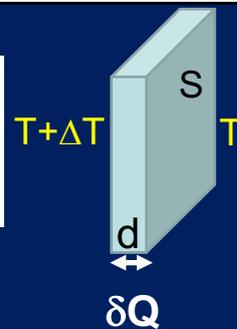
funzione di risposta
del termometro
 $h(T) = V_B \beta_{Hg} / s (T - T_0)$



CONDUCIBILITA' TERMICA

la quantità di calore δQ che nel tempo dt passa attraverso la superficie S di una parete spessa d di un materiale di conducibilità termica λ è:

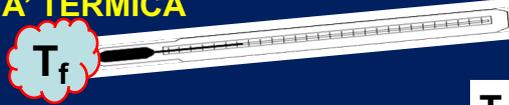
$$\delta Q = \lambda S/d [T - (T + \Delta T)] dt = -\lambda S/d \Delta T dt$$



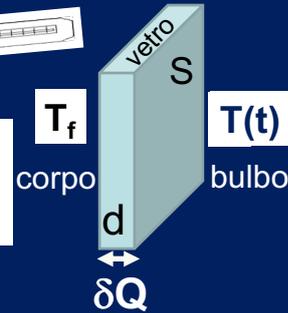
In un termometro a liquido il calore deve fluire attraverso il vetro del bulbo per arrivare al liquido. Questo passaggio richiede tempo



CONDUCIBILITA' TERMICA



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



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

δQ attraversa il vetro, la temperatura del liquido $dT = \delta Q/C$ varia

$$\delta Q = -\lambda S/d \Delta T dt = -\lambda S/d [T(t) - T_f] dt$$

$T(t)$ sale dalla temperatura iniziale T_0 a quella finale T_f ...

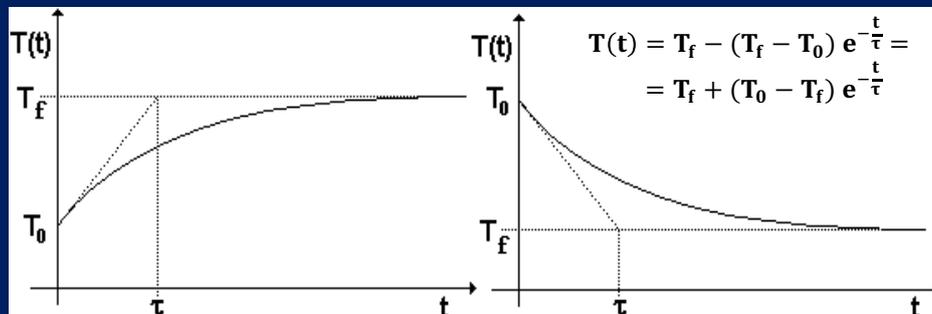
come?

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

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

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

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



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)
 → **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 $t \ll \tau \rightarrow$

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

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

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

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

E SE LA TEMPERATURA DA MISURARE VARIASSE?

$$dT = -1/\tau [T - T_f] dt \qquad dT = -1/\tau [T - T_f(t)] dt$$

se la temperatura T_f variasse linearmente nel tempo:
 $T_f = T_0 + \gamma t$ la soluzione dell'equazione differenziale
 $\frac{dT}{dt} + \frac{T}{\tau} = \frac{T_f}{\tau}$ 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 τ):

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

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 $W = V I$

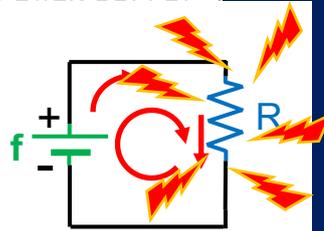
ENERGIA = POTENZA x TEMPO (quasi)

$$1 \text{ W} = 1 \text{ V} \times 1 \text{ A}$$

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



1) CALORE SPECIFICO DELL'ACQUA (raccolta dati)

1. versare nel dewar 200-300 g di acqua prelevata col bicchiere graduato
2. registrare la misura della massa d'acqua
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 10 minuti verificare tensione e corrente \rightarrow potenza

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

spegnere l'alimentatore, NON svuotare il dewar
Rimandare l'elaborazione dati per passare
al punto successivo

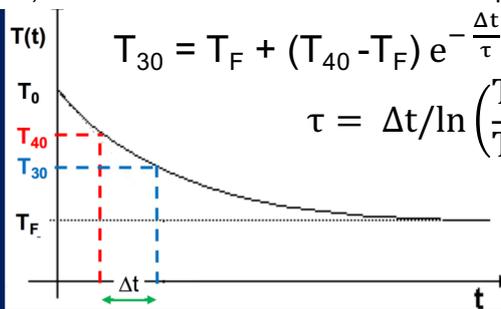
2) COSTANTE DI TEMPO DEL TERMOMETRO (raccolta dati)

Versare nel bicchiere graduato dell'acqua fredda (poco più di metà)

Sfilare il termometro dal dewar per misurare la temperatura dell'acqua fredda

Registare la temperatura dell'acqua fredda T_F

- 1) Inserire nuovamente il termometro nel dewar
- 2) Verificare che la temperatura sia ancora $T_0 > 40^\circ\text{C}$
- 3) Inserire il termometro nell'acqua fredda
- 4) Misurare il tempo necessario affinché la temperatura passi da 40°C a 30°C
Registare il tempo Δt misurato
- 5) Tornare al punto 1) per **ottenere 10 misure di Δt** e calcolarne la **media**
- 6) Alla fine misurare nuovamente la temperatura dell'acqua fredda T_F



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

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

**Rimandare
l'elaborazione
dati per
passare al
punto
successivo**

3) COSTANTE DI TEMPO DEL CALORIMETRO (raccolta dati)

Inserire il termometro nel dewar

Leggere ogni 5 minuti la temperatura **senza agitare il termometro**; fermarsi quando è finita l'elaborazione delle altre misure

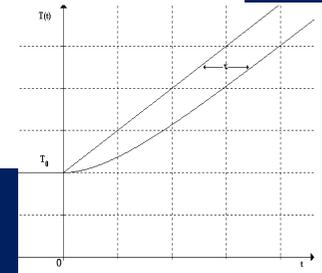
Nel frattempo elaborare le misure 1) e 2)

ELABORAZIONI DATI (iniziare ora → 30/5)

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 min = 60 s)



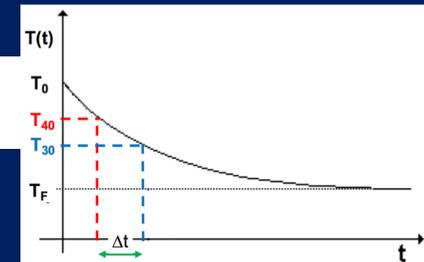
$$(1) c = 4,2 \text{ kJ}/(\text{kg K}) ?$$

2) COSTANTE DI TEMPO DEL TERMOMETRO

Calcolare τ dalla media aritmetica delle 10 misure di Δt

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

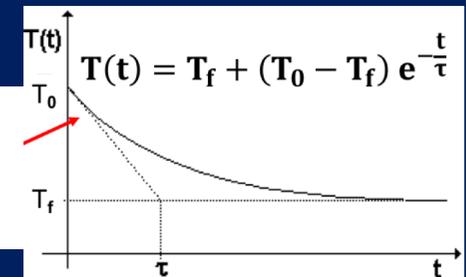
$$(2) \tau = 5 - 10 \text{ s} ?$$



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)



$$p = - \frac{T_0 - T_F}{\tau_{cal}}$$

$$(3) \tau_{cal} = \dots \text{ ore} ?$$