Misura della quantità di calore scambiata in una trasformazione

Si abbia una massa M d'acqua in contatto termico (pareti diatermiche) con una sorgente di calore a pressione costante (pentola su fornello)

$$\Delta V \approx 0 \quad \text{-->} \quad L \approx 0 \quad \text{-->} \quad Q = \Delta U \qquad T_I \to T_F$$

Per determinare ΔU dovremo trovare una trasformazione adiabatica tra lo stato iniziale I a T più bassa e lo stato finale F a T più alta ($\Delta T = T_F - T_I$) tale che $\Delta U = - L_{IF}^{(ad)}$

Misura $L_{IF}^{(ad)}$ -->mulinello Joule

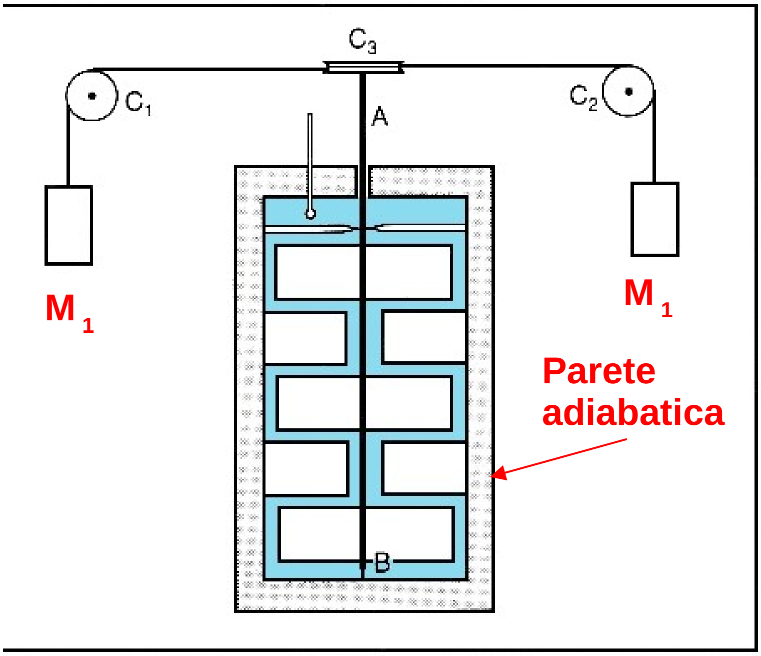
- caduta delle due M_1
- rotazione mulinello
- resistenza acqua (viscosa)
- innalzamento temperatura ΔT (stesso di prima)

$$\Delta U = - L_{IF}^{(ad)} = 2M_1 gh - M_1 v^2$$

Variando M_1 e h si verifica

$$\Delta U = C\,\Delta T = Q$$

con C “capacità termica” media a pressione costante della quantità di acqua M



Unità di misura storica per la quantità di calore:

1 caloria -> la quantità di calore necessaria per innalzare da 14.5°C a 15.5°C la temperatura di un grammo di acqua distillata a pressione atmosferica standard

Con apparecchi simili al mulinello di Joule si è ottenuto

1 caloria = 4.1855 J

L'esperienza di Joule (1870), stabilendo in maniera quantitativa l'equivalenza tra calore e lavoro, dimostrò la non esistenza del “fluido calorico”, creato nel 1800 per spiegare molte esperienze calorimetriche.

Capacità termiche, calori molari e calori specifici

In generale si definisce "capacità termica" C_x di una determinata sostanza, in un certo stato e per una trasformazione x (x=p se pressione costante, x=V se volume costante), il rapporto

$$C_x = (\delta Q/dT)_x$$

con δQ calore scambiato in un tratto infinitesimo della trasformazione x e dT corrispondente variazione di temperatura

Si definiscono poi, per la trasformazione x

calore specifico $\quad c_x = C_x/M$,

calore molare $\quad c'_x = C_x/n$ (n numero moli)

Solidi e liquidi --> $c'_p \approx c'_v$ ($\approx$ 20 $Jmol^{-1}K^{-1}$ per materiali conduttori)
(e l'acqua ?????)

Gas--> $c'_p \neq c'_v$ --> misure precise di c'_p e di $\gamma = c'_p/c'_v$

Gas monoatomici

$c'_p \approx (5/2)R = 20.8\ Jmol^{-1}K^{-1}$ $\quad \gamma = 5/3 = 1.67$ $\quad c'_v \approx (3/2)R$

Gas biatomici

$c'_p \approx (7/2)R = 29.8\ Jmol^{-1}K^{-1}$ $\quad \gamma = 7/5 = 1.40$ $\quad c'_v \approx (5/2)\ R$

Gas poliatomici

$c'_p \approx 4\ R = 33.2\ Jmol^{-1}K^{-1}$ $\quad \gamma = 4/3 = 1.33$ $\quad c'_v \approx 3\ R$

In tutti i casi $\quad c'_p - c'_v = R$ (perché $c'_p > c'_v$?)

Trasmissione del calore

In natura esistono tre modi diversi attraverso i quali il calore si può trasmettere da un corpo a temperatura più bassa a uno a temperatura più alta, oppure, entro un medesimo corpo, da una zona a temperatura più bassa a una zona a temperatura più alta,

Trasmissione per conduzione

Si ha conduzione termica se due corpi a temperatura diversa sono posti in contatto termico. Per caratterizzarla si consideri una parete indefinita di spessore L del materiale in esame e si supponga che da un lato (1) la temperatura sia T_1 e all'altro lato (2) sia T_2 ($T_2 > T_1$).

L'esperienza mostra che si ha un flusso continuo di calore dal lato 2 verso il lato 1 e, indicando con Q la quantità di calore che fluisce attraverso un elemento di area A in un intervallo di tempo t, si ha

$$Q = k\, t\, A\, (T_2 - T_1) / L$$

dove k è la "**conducibilità termica**" della sostanza di cui è costituita la parete. Valori tipici di k:

metalli (Ag,Cu,Al)	400	$W\,m^{-1}\,K^{-1}$	buon conduttore
ceramica	10	$W\,m^{-1}\,K^{-1}$	
vetro	1	$W\,m^{-1}\,K^{-1}$	
sughero, polistirolo	0.04	$W\,m^{-1}\,K^{-1}$	isolante termico

Trasmissione per convezione

Si verifica quando uno degli elementi a contatto è un fluido. Il fenomeno della convezione dipende in grande misura dal moto che si sviluppa all'interno del fluido, dalle dimensioni dell'ambiente in cui si sviluppa il moto, da diverse caratteristiche del fluido (densità, calore specifico, conducibilità termica, viscosità, ecc.) e dal valore della gravità.

Esempio semplice: parete calda (T_p) a contatto con un fluido a temperatura T_f. L'esperienza mostra che la quantità di calore Q trasmessa dalla parete al fluido attraverso l'area A nell'intervallo di tempo t è data da

$$Q = h\, t\, A\, (T_p - T_f)$$

dove h è il "**coefficiente di convezione**" (dipendente da molti parametri, spesso è tabulato) della sostanza di cui è costituita la parete.

Trasmissione del calore

Trasmissione per irraggiamento

Un corpo ad una certa temperatura emette nello spazio circostante onde elettromagnetiche dando luogo alla "emissione termica". Tali onde si propagano nello spazio e possono essere assorbite e/o riflesse da altri corpi

Quando la radiazione elettromagnetica incide su un corpo è in parte assorbita e in parte riflessa (o diffusa) e si può indicare con

$$\alpha = (\text{energia assorbita}) / (\text{energia incidente}).$$

Il coefficiente α è funzione della lunghezza d'onda della radiazione.

Sotto normali condizioni di illuminazione solare un corpo con $\alpha = 1$ a tutte le lunghezze d'onda appare di colore nero, mentre un corpo con $\alpha = 0$ appare bianco.

La descrizione del fenomeno dell'emissione termica fa riferimento al caso ideale di un corpo ("corpo nero") che si trova all'equilibrio termodinamico alla temperatura T e per il quale è identicamente $\alpha = 1$

L'energia totale emessa in tutto il semispazio dall'unità di superficie del corpo nero nell'unità di tempo è data da

$$W = \sigma \, T^4$$

dove σ è la "costante di Stefan – Boltzmann" che vale

$$\sigma = 5.67 \; 10^{-8} \; J \, m^{-2} \, s^{-1} \, K^{-4}$$

Come esempio l'energia totale emessa dal Sole per unità di tempo (luminosità solare L_S) è data da

$$L_S = 4 \pi R_S^2 \, \sigma \, T_S^4$$

Tenendo conto che $R_S = 7 \; 10^5$ km e che $T_S = 5800$ K si ottiene

$L_S = 3.95 \; 10^{26}$ W (pari a 200 milioni di miliardi di centrali nucleari da 2 GW)