

# Lavoro adiabatico e calore, esperimenti di Joule

un recipiente a **pareti rigide, adiabatiche** (→ isolato termicamente) riempito di acqua pura ed instrumentato con termometri e manometri e' detto calorimetro con opportuni accorgimenti si puo' innalzarne la temperatura iniziale dell'acqua nel calorimetro senza scambiare calore

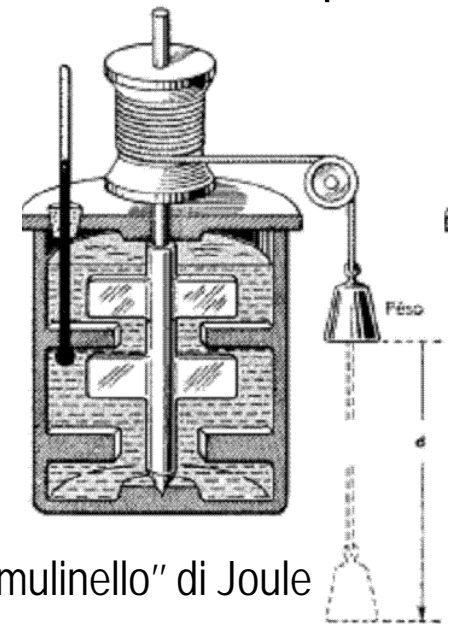
ma solo effettuando lavoro → *lavoro adiabatico*

i risultati sperimentali indicano che a parita' di massa d'acqua,

il lavoro adiabatico  $L_{ad}$  e' proporzionale sempre e soltanto "mulinello" di Joule

alla variazione di temperatura dell'acqua

indipendentemente da come viene fornito il lavoro,



in sintesi :

il *lavoro adiabatico*  $L_{ad}$  dipende unicamente  
dai valori che una *funzione scalare* della temperatura  
assume in corrispondenza delle temperature iniziale e finale  
*indipendentemente* dal modo in cui viene fornito il lavoro



$$L_{ad} = U_{iniz} - U_{fin} = -\Delta U$$

in analogia con la funzione  
energia potenziale in meccanica  
la funzione  $U$  e' detta  
*energia "interna"*

$$L_{ad} = U_{iniz} - U_{fin} = -\Delta U$$



se  $L_{ad} > 0 \rightarrow U_{iniz} - U_{fin} > 0$



$$U_{fin} < U_{iniz}$$



il sistema fornisce lavoro all'esterno  
a spese della sua energia interna

oppure

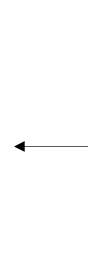
il sistema riceve lavoro all'esterno  
ed aumenta la sua energia interna

convenzione ingegneristica:

il lavoro e' positivo

se il sistema fornisce

lavoro all' ambiente



## l' " *energia interna* " dipende

➤ dall' energia cinetica legata all'agitazione casuale ( random in inglese) degli atomi o molecole componenti il corpo  
→ energia cinetica disordinata,

➤ dall'energia potenziale legata alla natura dei legami chimici  
→ energia potenziale di atomi o molecole,

➤ dall'energia legata alle rotazioni e vibrazioni casuali degli atomi e delle molecole

atomi e molecole hanno una estensione spaziale finite e possono

ruotare attorno ad uno o piu' assi di rotazione

→ energia cinetica rotazionale di un corpo rigido

oscillare attorno ad una posizione di equilibrio

→ energia cinetica dell'oscillatore armonico

Nota bene : si tratta di una approssimazione classica  
approccio corretto → meccanica quantistica

# Equivalenza tra calore e lavoro adiabatico

misure sperimentali, sempre effettuate con il mulinello di Joule, mostrarono che:

lo stesso identico innalzamento di temperatura dell'acqua

si puo' ottenere anche fornendo soltanto calore al sistema

di qui il concetto di *equivalenza* tra il lavoro adiabatico  $L_{ad}$  e il calore  $Q$

➤ attenzione : *equivalenza non* significa *uguaglianza*

# Calore e lavoro termodinamico

durante una generica trasformazione un sistema puo' scambiare

sia calore  $Q$  sia lavoro, ma non si puo' piu' trattare del lavoro adiabatico  $L_{ad}$

percio' a questo lavoro si da' il nome di *lavoro termodinamico*  $L$

estendendo il concetto di *equivalenza* tra lavoro adiabatico  $L_{ad}$  e calore  $Q$

possiamo ipotizzare l'*equivalenza* tra lavoro termodinamico  $L$  e calore  $Q$

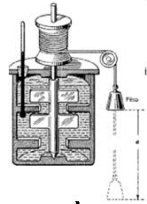
- **il calore, cosi' come il lavoro termodinamico, consiste in uno scambio di energia tra sistema ed ambiente**
- il calore e' un trasferimento di energia **non** (macroscopicamente) meccanico dovuto ad una differenza di temperatura tra sistema ed ambiente

inoltre ipotizzeremo

- **che valga il principio di conservazione dell' energia**

$Q = 0$  scambio di solo lavoro (adiabatico)

sperimentalmente



il lavoro *adiabatico*  $L_{ad}$  dipende unicamente dai valori che una funzione scalare della temperatura assume in corrispondenza delle temperature iniziale e finale *indipendentemente* dal modo in cui viene fornito il lavoro

$$L_{ad} = -\Delta U$$

e' possibile modificare l' energia interna del sistema tramite lo scambio di lavoro adiabatico

il lavoro adiabatico e' un trasferimento di energia tra sistema ed ambiente

da  $L_{ad} = -\Delta U$

$$L_{ad} + \Delta U = 0 \rightarrow \text{Nota Bene: e' una legge di conservazione dell' energia !}$$

scambio di solo calore  $Q \neq 0$

sperimentalmente

la stessa identica variazione di temperatura dell'acqua si puo' ottenere anche fornendo o sottraendo soltanto calore

equivalenza di calore e lavoro adiabatico per modificare l' energia interna del sistema

il calore e' un trasferimento di energia di tipo *non* macroscopicamente meccanico tra sistema ed ambiente



nel caso adiabatico

1)

sperimentalmente  
si e' trovato che

$$L_{ad} = -\Delta U$$

↓

$$L_{ad} + \Delta U = 0$$

2)

sperimentalmente si e' trovato  
che il lavoro adiabatico  $L_{ad}$   
e il calore  $Q$  sono forme di  
scambio di energia equivalenti  
per modificare l'energia interna

3)

si e' realizzato che la  
 $L_{ad} + \Delta U = 0$   
esprime la legge di  
conservazione dell' energia

nel caso generale

$$L \neq L_{ad}$$

↓

$$L \neq -\Delta U$$

↓

$$L + \Delta U \neq 0$$

↓

assumendo che vi  
sia equivalenza  
anche tra il lavoro *fisica*  
termodinamico  $L$   
ed il calore  $Q$

↓

assumendo che  
anche nel caso *fisica*  
generale valga la  
legge di conservazione  
dell' energia

$$L + \Delta U = Q$$

↓

$$\Delta U = Q - L$$

# Primo principio della termodinamica

$$\Delta U = Q - L$$

un sistema puo' scambiare calore  $Q$  e lavoro  $L$  in molti modi diversi per arrivare allo stesso stato finale ma, mentre  $Q$  ed  $L$  dipendono dalla trasformazione che il sistema ha effettuato la grandezza  $\Delta U = Q - L$ , non dipende dalla trasformazione

➤ in altri termini l' energia interna  $U$  e' una *funzione di stato*

le variazioni  $\Delta U$  di energia interna forniscono gli scambi energetici durante una qualsiasi trasformazione termodinamica

attenzione: un sistema *non possiede* lavoro ! un sistema *non possiede* calore !

un sistema possiede *energia interna* e scambia lavoro e/o calore con l'ambiente circostante per modificare la sua *energia interna*

Nota Bene:

se l'energia cinetica del centro di massa del sistema e la sua energia potenziale complessiva cambiassero nel tempo occorrerà generalizzare il primo principio della termodinamica

$$\Delta U + \Delta E_c + \Delta E_p = Q - L$$

e nel caso siano presenti altri tipi di forze, ( elettriche, magnetiche etc. ) occorrerà aggiungere altri ulteriori opportuni termini

## Trasformazioni infinitesime

se l'energia interna subisse modifiche infinitesime  $\Delta U \rightarrow dU$

potremo affermare che  $dU = dQ - dL$  ?

Risp. **NO** si dovrà scrivere  $dU = \dot{d}Q - \dot{d}L$  o  $dU = \delta Q - \delta L$

➤ gli scambi di calore e di lavoro dipendono dalla trasformazione quindi

le loro variazioni infinitesime non sono definibili in modo univoco

perché dipendono dalla trasformazione  $\rightarrow$  non sono differenziali esatti

viceversa la variazione infinitesima di energia interna

non dipende dalla trasformazione, dunque è sempre un differenziale esatto

# Lavoro adiabatico e calore

misure sperimentali mostrano che a partire dalla stessa temperatura iniziale

si puo' ottenere lo stesso innalzamento di temperatura dell'acqua nel calorimetro

fornendo solo calore

ad es. immergendo nell'acqua un corpo solido caldo ( purché non si inducano reazioni chimiche )

➤ il lavoro adiabatico speso sara' uguale, in valore assoluto, al calore scambiato

il calore  $Q$  scambiato per variare la temperatura del sistema,

senza effettuare lavoro equivale al lavoro  $L_{ad}$  che occorre fare sul sistema,

senza scambiare calore per ottenere la stessa variazione di temperatura

# Misura del calore

si puo' misurare il **calore scambiato** ( senza effettuare lavoro )

necessario per ottenere una generica variazione di temperatura

→ misurando il **lavoro adiabatico** necessario per ottenere  
la stessa variazione di temperatura

del tutto in generale gli strumenti di misura del calore sono detti "*calorimetri*"

# Backup Slides