PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Lavoro meccanico : W

$\Delta E_c = W(\Sigma \vec{F})$

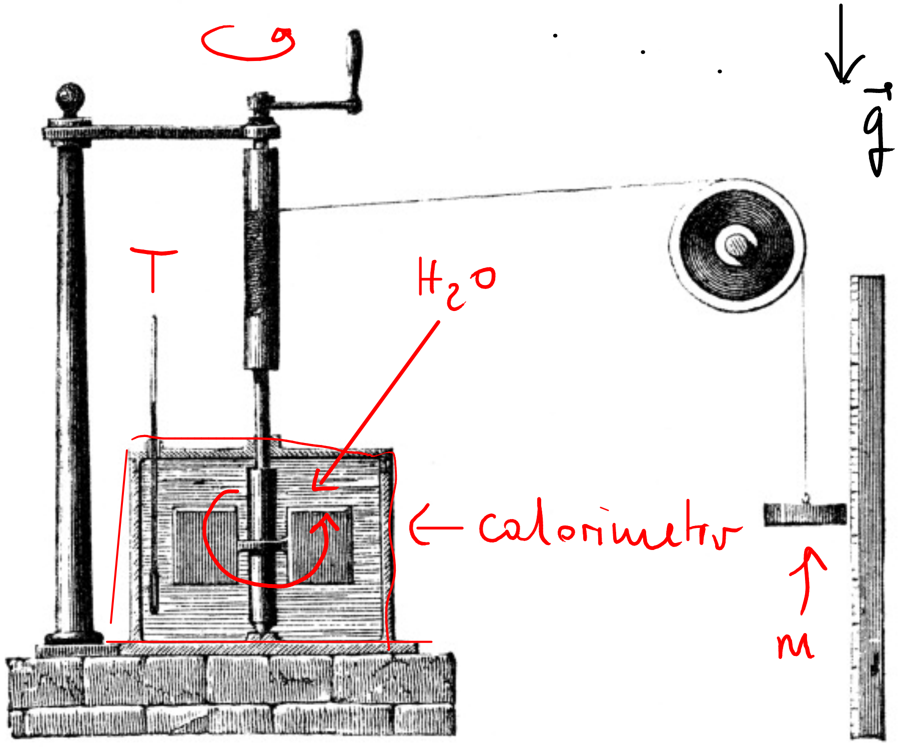
Calore : $Q \sim \Delta T$

unità storica di Q

1 cal = calore necessario

a aumentare di 1°C

la T dell' H_2O a $T = 14{,}5\,°C$



Esperimento di Joule 1843

Lavoro meccanico = Energia cinetica + Calore

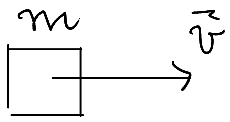
$\frac{W}{Q} = 4{,}186 \frac{J}{cal}$ ⇒ equivalente meccanico del calore

dinamica ↔ termodinamica SI: J

Per ristabilire la conservazione dell'energia di un sistema isolato la termodinamica postula l'esistenza di una nuova variabile di stato → ENERGIA INTERNA

I principio

Ogni sistema macroscopico chiuso è caratterizzato da una **variabile di stato**, U, energia interna **estensiva** e **additiva** tale che



$$E_c = \frac{1}{2} m |\vec{v}|^2$$

$$\Delta E_c + \Delta U = 0$$ se è isolato

$$E_c + U = \text{cost}$$ se è isolato

energia totale si conserva! ⇒ Motto: l'energia dell'universo è costante

Calore: sistema a riposo $\vec{v} = 0$ $\quad$ [$\vec{v} \neq 0 \quad Q \equiv \Delta E_c + \Delta U - W$]

Lavoro meccanico W subito dal corpo
Variazione di energia interna ΔU

⇒ $Q \equiv \Delta U - W$

↓

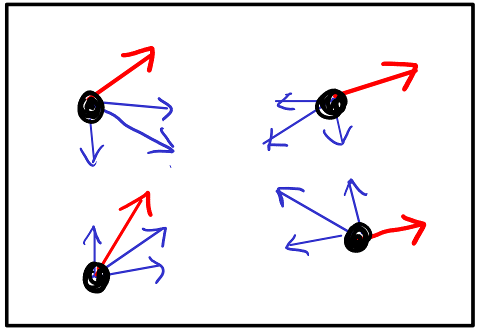
formulazione standard: $\Delta U = Q + W$

Trasformazioni elementari:

$dE_c + dU = 0$; $dU = \delta Q + \delta W$

Interpretazione micro:

forze interne $\vec{F}_{int}$



forze esterne

$\downarrow$

ambiente

$\vec{F}_{est}$

- $\vec{F}_{int}$: conservative
- $\vec{F}_{est}$: dovute all'ambiente esterno

teor. energia cinetica:

$$\Delta E_c^{tot} = W(\Sigma \vec{F}_{int}) + \boxed{W(\Sigma \vec{F}_{est})}$$

$$\Delta E_c \qquad \Delta E_c^{(m)} \qquad \Delta E_p^{(m)}$$

$$E_c = \frac{1}{2} m |\vec{v}|^2 \qquad E_c^{(m)} = \sum_{i=1}^{N} E_{ci}$$

Sottratto il moto CM

Σ energie su scala micro

$\Uparrow$

$$\underbrace{\Delta(E_c^{(m)} + E_p^{(m)})} \Rightarrow \underbrace{U \equiv E_c^{(m)} + E_p^{(m)}}_{\text{energia interna}}$$

$$\Delta E_c + \Delta E_c^{(m)} + \Delta E_p^{(m)} = W(\Sigma \vec{F}_{est})$$

Se sistema isolato: $W(\Sigma \vec{F}_{est}) = 0 \implies \Delta E_c + \Delta E_c^{(m)} + \Delta E_p^{(m)} = 0$

$$\vec{F} \swarrow \searrow \vec{f}_i \qquad d\vec{r} \swarrow \searrow d\vec{r}_i$$

$$\Sigma \vec{F}_{est} \cdot \Delta \vec{r} \begin{cases} \nearrow \vec{F} \cdot d\vec{r} \\ \searrow \sum_{i=1}^{N} \vec{f}_i \cdot d\vec{r}_i \end{cases}$$

$$\Delta E_c + \Delta U = \underbrace{\vec{F} \cdot d\vec{r}}_{W} + \underbrace{\sum_{i=1}^{N} \vec{f}_i \cdot d\vec{r}_i}_{Q}$$

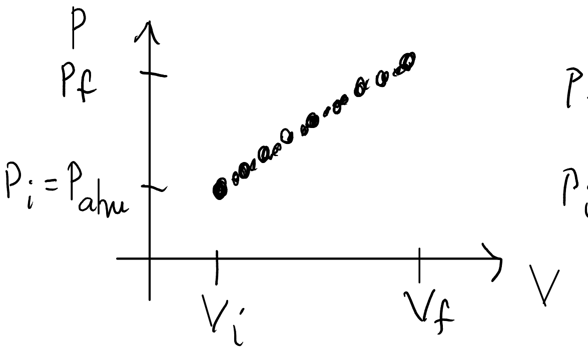
W: lavoro meccanico
scala macro

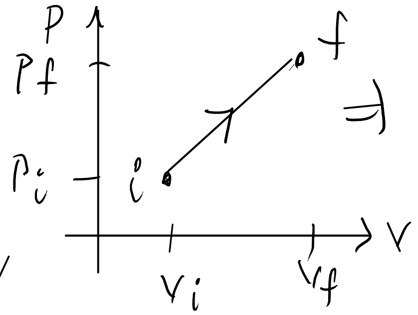
Q: lavoro su scala micro
spostamenti disordinati

Trasformazioni quasi-statiche

Successione di stati di equilibrio di un sistema

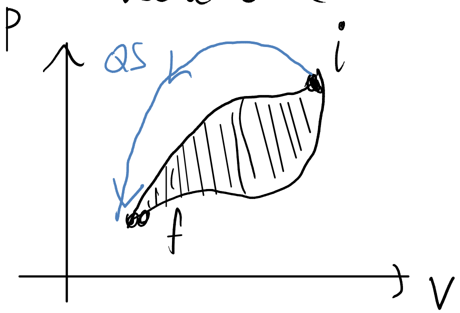
Es: palloncino gonfiabile





$\Rightarrow$ QS

non è QS



$dU = \delta W + \delta Q$

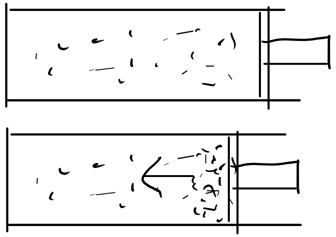
$\delta W \to dU \to \delta Q$

trasf. QS sono lente $\Leftarrow$

Variazione di una variabile o funzione di stato ΔF anche per trasformazioni arbitrarie

Es: gas in un contenitore

$L \sim 1\,m$



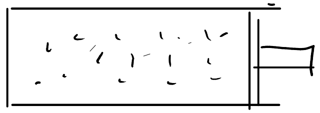
$c \approx 300\ \frac{m}{s}$

$c \approx \frac{L}{\Delta t}$ $\sim 3\,ms$

$\Delta t \approx \frac{L}{c} = \frac{1}{300}\,s$

Lavoro meccanico

fluido comprimibile. Lavoro compiuto sul fluido dalla forza esterna



P_{est}

V $\qquad \longrightarrow \vec{e}_x$

A = area pistone

$$\delta W = \vec{F}_{est} \cdot d\vec{r} = -P_{est} A\, \vec{e}_x \cdot dx\, \vec{e}_x = -P_{est} \underbrace{A\, dx}_{dV}$$

$$\boxed{\delta W = -P_{est}\, dV}$$

Trasf. QS del sistema: $P = P_{est} \Rightarrow \boxed{\delta W = -P\, dV}$

Convenzione segno: $\delta W > 0 \Rightarrow$ sistema riceve energia dall'ambiente

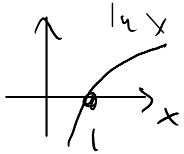
$\delta W < 0 \Rightarrow$ sistema fornisce energia all'ambiente

casi particolari:

- isocora: $V = \text{cost} \Rightarrow dV = 0 \Rightarrow \delta W = 0 \Rightarrow W = \int_i^f \delta W = 0$
- isobara e qs: $P = \text{cost} \Rightarrow \delta W = -P\, dV$

  $$W = \int_i^f \delta W = -\int_i^f P\, dV = -P\,(V_f - V_i)$$
- $P_i > P_{est}$, $P_{est} = \text{cost} \Rightarrow W = -\int_i^f P_{est}\, dV = -P_{est}\,(V_f - V_i)$

- isoterma, qs, gas perfetto: $T = \text{cost}$



$$W = \int_i^f \delta W = -\int_i^f p\,dV = -\int_i^f nRT\,\frac{dV}{V} = -nRT\int_{V_i}^{V_f}\frac{dV}{V} = -nRT\ln\boxed{\frac{V_f}{V_i}}$$

$\uparrow$

$$p = \frac{nRT}{V}$$

compressione $V_f < V_i$: $W > 0$

espansione $V_f > V_i$: $W < 0$