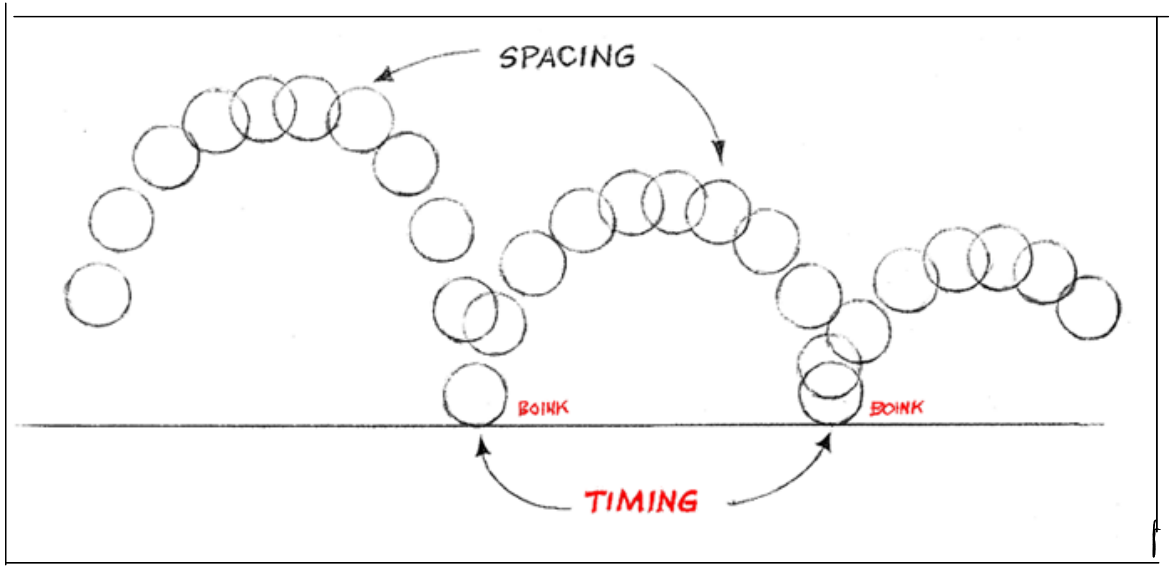
II PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA



Found in the book "The Animator's Survival Kit by Richard Williams"

$$\Delta E_c + \Delta U = W + Q$$

asimmetria

~ 1800 – 1850 : limite superiore all'efficienza delle macchine termiche

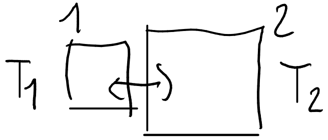
→ Carnot, Clausius

ENTROPIA → irreversibilità dei fenomeni macro → freccia del tempo

A scuola mi avevano detto che è l'energia che fa girare il mondo. Ma c'è qualcosa che non torna. L'energia si conserva. Se si conserva, che bisogno abbiamo di procurarcene di nuova? Perchè non usiamo sempre la stessa? Non è di energia che abbiamo bisogno, è di bassa entropia. Senza bassa entropia, l'energia si diluirebbe in un calore uniforme e il mondo andrebbe al suo stato d'equilibrio, dove non c'è distinzione tra passato e futuro. ["L'ordine del tempo", C. Rovelli, p.137]

I pri: U, $dU = 0$ isolato $\rightarrow$ S, $dS \geq 0$ isolato

Sistema <u>isolato</u>: corpi solidi, $V_1 = \text{cost}$, $V_2 = \text{cost}$



δQ_1 δQ_2

$$dU_1 + dU_2 = 0$$

$$\cancel{\delta W_1} + \delta Q_1 + \cancel{\delta W_2} + \delta Q_2 = 0$$

$$\delta Q_1 + \delta Q_2 = 0 \Rightarrow \delta Q_2 = -\delta Q_1$$

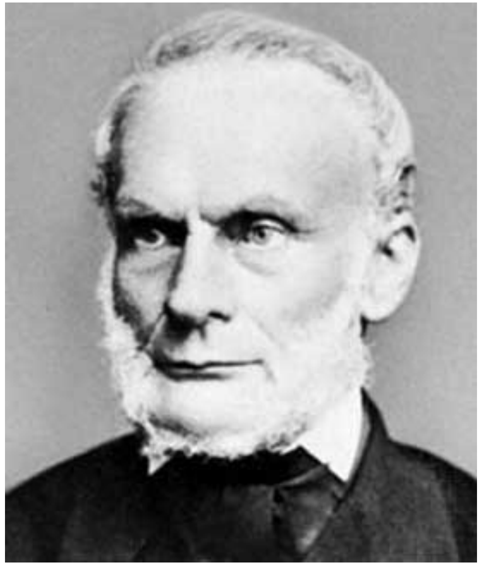
$T_1 < T_2$: $\delta Q_1 > 0$, $\delta Q_2 < 0$

$T_1 > T_2$: $\delta Q_1 < 0$, $\delta Q_2 > 0$ $\rightarrow$ $\dfrac{\delta Q}{T}$

$$\frac{\delta Q_1}{T_1} + \frac{\delta Q_2}{T_2} = \delta Q_1 \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

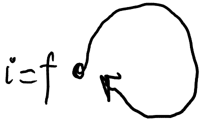
$T_1 < T_2$: $\delta Q_1 > 0$, $\dfrac{1}{T_1} - \dfrac{1}{T_2} > 0 \Rightarrow \dfrac{\delta Q_1}{T_1} + \dfrac{\delta Q_2}{T_2} > 0$

$T_1 > T_2$: $\delta Q_1 < 0$, $\dfrac{1}{T_1} - \dfrac{1}{T_2} < 0 \Rightarrow \dfrac{\delta Q_1}{T_1} + \dfrac{\delta Q_2}{T_2} > 0$.



Rudolph Clausius
~1850 – 1860

Ciclo termodinamico:



$$\oint \frac{\delta Q}{T} = 0$$

$\Downarrow$

$\dfrac{\delta Q}{T}$ è un differenziale esatto!

Enunciato del II principio:

Ogni corpo macro è caratterizzato da una funzione di stato, estensiva e additiva, S entropia tale che se il sistema è isolato $dS \geq 0$.

Motto: entropia dell'universo non diminuisce mai!

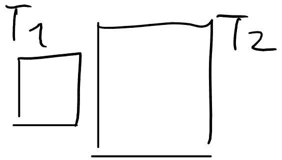
Trasf. QS elementare: $\boxed{dS \equiv \frac{\delta Q}{T}}$ $\leftarrow$

Osservazioni:

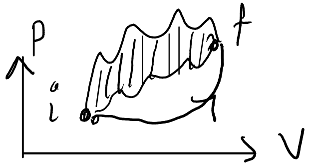
1) Isolato, $dS = 0 \Rightarrow$ equilibrio $\quad \delta Q_1 \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) = 0 \quad T_1 = T_2$ equilibrio termico

$P_1 = P_2$ equilibrio meccanico

2) Equilibrio stabile $\rightarrow$ S ha un massimo (S concava delle variabili estensive)

3) 

$dS > 0 \Rightarrow$ senso delle trasformazioni spontanee di un sistema isolato (freccia del tempo) $dS = dS_1 + dS_2 \geq 0$

4) $i \rightarrow f$ 

$\Delta S = S_f - S_i = \int_i^f dS = \int_i^f \frac{\delta Q}{T}$ $\leftarrow$ lungo una trasf. QS dello stesso sistema

Equazione fondamentale

Per N dato, $S = S(U, V)$

$$\begin{cases} dU = \delta W + \delta Q \\ dS = \dfrac{\delta Q}{T} \quad (QS) \end{cases}$$

Trasf. QS: $\delta Q = T\,dS$, $\delta W = -P\,dV$

$$dU = -P\,dV + T\,dS \rightarrow \boxed{dS = \frac{1}{T}dU + \frac{P}{T}dV}$$

eq. fondamentale dell'entropia sotto forma differenziale

Es: gas perfetto

- eq. di stato: $PV = nRT$ $\quad \rightarrow \quad \dfrac{P}{T} = \dfrac{nR}{V}$
- espressione energia interna: $U = \underbrace{\frac{3}{2}nR}_{\text{mono}}T = C_V T \rightarrow \dfrac{1}{T} = \dfrac{C_V}{U}$

$$dS = C_V \frac{dU}{U} + nR\frac{dV}{V} \qquad i \rightarrow f \quad U_i, V_i \longrightarrow U_f, V_f$$

$$S_f - S_i = C_V \int_{U_i}^{U_f} \frac{dU}{U} + nR \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V} = C_V \ln \frac{U_f}{U_i} + nR \ln \frac{V_f}{V_i}$$

$$S_f = S_i + C_V \ln \frac{U_f}{U_i} + nR \ln \frac{V_f}{V_i}$$

$$\boxed{S = C_V \ln U + nR \ln V + S_0}$$

III principio della termodinamica

$S(T) \to 0$ se $T \to 0$

I pr

$dU = 0$

II pr

$dS \geq 0$

isolato

$dU = \delta W + \delta Q$

$dS = \dfrac{\delta Q}{T}$ (QS)

$\downarrow$

III pr

$S \to 0$ se $T \to 0$