→ Consideriamo alcune Trasformazioni spontanee alla luce del principio di aumento dell'entropia:

• Scambio di calore tra 2 corpi a contatto:

Dati 2 corpi a T_1 & T_2 isolati termicamente, questi raggiungeranno una T_{eq} se messi a contatto:

$$Q_1 = m_1 c_1 (T_{eq} - T_1) = |Q_2| = m_2 c_2 (T_{eq} - T_2) \Rightarrow T_{eq} = \frac{m_1 c_1 T_1 + m_2 c_2 T_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2}$$

Lo scambio di calore avviene in modo IRREVERSIBILE data la differenza FINITA di temperatura tra i 2 corpi, quindi avremo $\Delta S_u > 0$:

INOLTRE $\Delta S_1 > |\Delta S_2|$

$$\Delta S_u = \Delta S_1 + \Delta S_2 = \underbrace{m_1 c_1 \ln \frac{T_{eq}}{T_1}}_{>0} + \underbrace{m_2 c_2 \ln \frac{T_{eq}}{T_2}}_{<0} > 0$$

Esempio p. 70c

• Cambiamenti di fase:

Sono processi ISOTERMI: $\Delta S = \int \frac{dQ}{T} = \frac{Q}{T} = \frac{m\lambda}{T}$ (Calore scambiato; Calore latente)

Esempio 70d

• Riscaldamento per Attrito:

Consideriamo un corpo in moto che viene frenato da una forza di attrito:

i) Il lavoro compiuto dalle forze dissipative W è uguale ed opposto alla variazione di energia interna del corpo e del sistema: $W = \Delta U < 0$

$\Rightarrow U_B > U_A$: aumenta la sua energia interna e la temperatura → Trasformazione Adiabatica

$T_{amb} \to T$

ii) Successivamente il calore viene ceduto all'ambiente:

$Q = U_A - U_B = W$, la temperatura del corpo torna a T_{amb} così come l'energia interna torna da U_B a U_A.

→ In definitiva il corpo ha subito una trasformazione ciclica;

in i) l'entropia del corpo aumenta a causa del riscaldamento.

ΔS_{sys} può essere calcolato immaginando una cessione di calore reversibile da parte di una sorgente a T regolabile:

$$\Delta S^{(i)}_{sys} = \int_A^B mc \overbrace{\frac{dT}{T}}^{dQ = mc\,dT} = mc \ln \frac{T_B}{T_A = T_{amb}}$$

in ii) l'entropia del corpo diminuisce man mano che cede calore all'ambiente.

Alla fine l'unica variazione di entropia diversa da $\emptyset$ è quella dell'ambiente, che riceve il calore $-Q$:

negativo perché ceduto dal sistema

$$\Delta S_u = \Delta S_{amb} = -\frac{Q}{T_{amb}} = -\frac{W}{T_{amb}} > 0$$

lavoro < 0 perché fatto sul sys.ma in esame

l'ambiente assorbe calore pari al lavoro speso dalle forze di attrito

Esempio: Scambi Calore Tra Corpi

Due masse d'acqua, $m_2 = 100\,Kg$ e $m_1 = 240\,Kg$, si trovano alle Temperature $T_2 = 90°C$ e $T_1 = 10°C$. ~~[illegible]~~

i) Calcolare la Temperatura di equilibrio e variazione di entropia se i recipienti che contengono le masse vengono posti in contatto termico e isolati dall'ambiente esterno

ii) Calcolare T_{eq} e ΔS_u se si fa lavorare tra le due masse una macchina Termica Reversibile finché viene raggiunto l'equilibrio Termico.

i) $$m_1 c (T_{eq} - T_1) = -m_2 c (T_{eq} - T_2) \Rightarrow T_{eq} = 306{,}7\,K \qquad (c = 4186{,}8\,J/KgK$$

$$\Delta S_u = \underbrace{\cancel{\Delta S_{amb}}}_{0 \text{ poiché sistema isolato}} + \Delta S_{sys} = m_1 c \ln\frac{T_{eq}}{T_1} + m_2 c \ln\frac{T_{eq}}{T_2} = 9310\,J/K > 0$$

ii) Ciclo Reversibile $\Rightarrow \Delta S_u = 0 = m_1 c \ln\frac{T'_{eq}}{T_1} + m_2 c \ln\frac{T'_{eq}}{T_2}$

$$\left(\frac{T'_{eq}}{T_1}\right)^{m_1 c}\left(\frac{T'_{eq}}{T_2}\right)^{m_2 c} = 1$$

$$T'^{(m_1+m_2)c}_{eq} = T_1^{m_1 c} \cdot T_2^{m_2 c}$$

$\Rightarrow T'_{eq} = 304{,}8\,K < T_{eq}$ poiché parte del Calore scambiato va in lavoro ($W \neq 0$):

$$Q_A = m_2 c (T_2 - T'_{eq}) \quad \& \quad Q_C = m_1 c (T_1 - T'_{eq}) \Rightarrow W = Q_A + Q_C$$

Esempio: Variazione Entropia Cambiamento di Fase

Un blocco di ghiaccio alla Temperatura $T_1 = 0°C$ viene posto a contatto, in un ambiente Termicamente isolato, con un blocco di rame a $T_2 = 100°C$; ad equilibrio raggiunto si è sciolta una porzione del blocco di ghiaccio m_x. Calcolare m_x e ΔS_u noto $C_{Cu} = 6 \cdot 10^3 J/K$ e $\lambda_{ice} = 3.34 \cdot 10^5 \frac{J}{Kg}$

→ Dato che non fonde Tutto il ghiaccio, la Temperatura di equilibrio sarà T_1.

Inoltre:

$$\underbrace{Q_A = m_x \lambda}_{\text{Calore assorbito dall'}H_2O} = \underbrace{Q_C}_{\text{Calore ceduto dal Cu}} = C(T_2 - T_1) \Rightarrow m_x = 1{,}80 Kg$$

$$\Delta S_{ice} = \frac{m_x \lambda}{T_1} = 2197 J/K$$

Temperatura in K!

$$\Delta S_{Cu} = \underbrace{m_{cu} c}_{C_{cu}} \ln \frac{T_1}{T_2} = -1872 J/K$$

$$\Delta S_u = \Delta S_{ice} + \Delta S_{Cu} = 325 J/K > 0$$

Esempio: Massimo Lavoro Ottenibile

Una macchina termica lavora tra una massa d'acqua $m_2 = 10^6 Kg$ a $T_2 = 10°C$ ed una massa di ghiaccio $m_1 = 2 \cdot 10^5 Kg$ a $T_1 = 0°C$. Calcolare il massimo lavoro ottenibile

→ Il massimo rendimento - e quindi lavoro - si ha usando una macchina reversibile che assorbe calore dall'acqua e lo cede al ghiaccio facendolo fondere;
Il massimo ~~...~~ calore che l'acqua può cedere al ghiaccio è:

$$Q = m_2 c_2 \underbrace{(T_2 - T_1)}_{\text{Non può raffreddarsi oltre } T_1} = 4{,}19 \cdot 10^{10} J \qquad (c = 4186{,}8 \; J/_{KgK})$$

che è inferiore al calore che sarebbe necessario a fondere tutto il ghiaccio:

$$m_1 \lambda = 6{,}69 \cdot 10^{10} J \qquad (\lambda = 3{,}34 \cdot 10^5 J/Kg)$$

Dato che la ~~macchina~~ Trasformazione è reversibile $\Delta S_u = 0$, ed la macchina è ciclica, $\Delta S_M = 0$, abbiamo

$$\Delta S_{amb} = \Delta S_{H_2O} + \Delta S_{ice} = m_2 c \ln T_1/_{T_2} + \frac{Q_0}{T_1} = 0$$

Calore Assorbito dal ghiaccio

$$Q_0 = -m_2 c \ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right) \cdot T_1 = 4.11 \cdot 10^{10} J$$

Dunque la macchina assorbe Q dall'acqua, cede $-Q_0$ al ghiaccio e compie il lavoro:

$$W = Q - Q_0 = 8 \cdot 10^8 J$$

Con rendimento: $\eta = \frac{W}{Q} = 0.019$

Nota se la macchina lavorasse tra 2 sorgenti a T_1 & T_2 costanti;

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 0.035$$

Trasformazioni Adiabatiche e II p. della Termodinamica

469 Mazzoldi

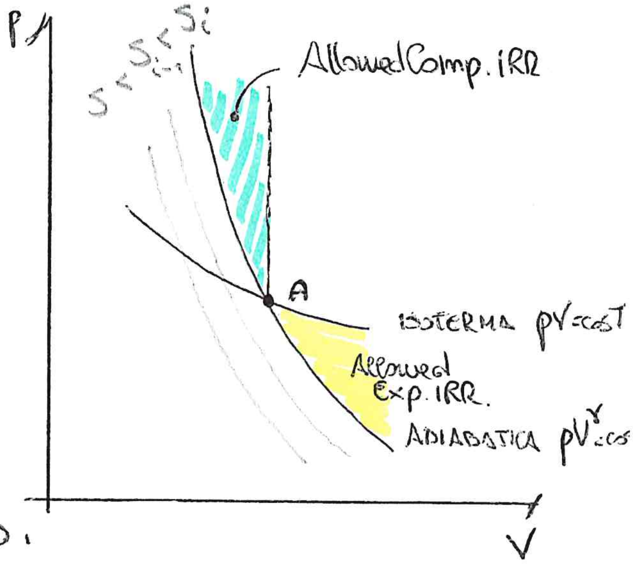
→ Per una Trasformazione Adiabatica Reversibile avremo che $S_B - S_A = 0$. $(dQ=0)$

Infatti avevamo visto e.g. per un gas perfetto:

$$S_B - S_A = m c_v \ln \frac{T_B V_B^{\gamma-1}}{T_A V_A^{\gamma-1}} = m c_v \ln(1) = 0 \quad \text{c.v.d.}$$

$\downarrow$ $TV^{\gamma-1} = cost$ per una adiabatica reversibile

→ Consideriamo una ~~Trasformazione~~ ESPANSIONE Adiabatica IRREVERSIBILE con stato iniziale A:



a) • Lo stato finale non potrà essere al di sotto della curva Adiabatica Rev.le passante per A, in quanto ciò comporterebbe una riduzione dell'entropia, mentre per il II p. deve essere $\Delta S > 0$.

b) • La Temperatura dello stato finale deve essere $\leq T_A$ poiché in un espansione adiabatica un gas si raffredda (o rimane a T cost. se si tratta di un'espansione libera), in base al I p.

a) + b) ⇒ l'unica area disponibile e' quella compresa tra le 2 curve. ADIABATICA e ISOTERMA

→ Consideriamo una COMPRESSIONE Adiabatica Irreversibile:

a) lo stato finale deve stare sopra la ISOENTROPICA ~~ed il volume~~

b) il Volume finale deve essere $< V_A$

a) + b) ⇒ l'unica area disponibile e' quella compresa tra l'adiabatica e la ISOCORA passante per A

Nota: In seguito ad una Trasformazione Adiabatica Irreversibile, non e' più possibile ritornare allo stato iniziale adiabaticamente, né in modo reversibile, né irreversibile.