

Esercizio (e considerazioni sull'entropia) (1)

Supponiamo che 1,0 kg di acqua a 100°C sia posta in contatto con 1,0 kg di acqua a 0°C. Qual'è la variazione di entropia del sistema. Assumiamo che la capacità termica specifica dell'acqua sia costante e valga 4190 J/kg·K su questo range di temperatura.

Soluzione

Questo processo rappresenta un flusso di calore irreversibile a causa della differenza "finita" di temperatura.

La temperatura finale dell'acqua è pari a

$$T_{fin} = \frac{m_1 c_1 T_1 + m_2 c_2 T_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2}$$

dove c_1, c_2 capacità termiche delle sostanze in gioco e m_1, m_2 masse. Quindi:

$$\begin{aligned} T_{fin} &= \frac{m_1 c T_1 + m_2 c T_2}{m_1 c + m_2 c} = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2} = \\ &= \frac{1,0 \cdot 373 + 1,0 \cdot 273}{1,0 + 1,0} = 323 \text{ K} \end{aligned}$$

Per calcolare la variazione totale di entropia devo calcolare le variazioni di entropia delle due masse separatamente e poi sommarle. Implicitamente nell'esercizio non si fa riferimento di eventuali scambi di calore con l'ambiente, quindi il sistema deve essere considerato "isolato". Come conseguenza devo aspettarmi un aumento complessivo dell'entropia poiché il processo è

invernalibile -

Per calcolare le variazioni di entropia (invece di
che il processo sia "reversibile", cioè composto da
una successione di stati di equilibrio durante
i quali c'è uno scambio infinitesimo di calore
per Q

$$dQ = mc dT$$

dove c è la capacità termica specifica dell'acqua.
Poi allora applicare la

$$\Delta S = \int_{(1)}^{(2)} \frac{dQ}{T} \quad \text{per calcolare le variazioni di entropia}$$

$$\Delta S_1 = \int_{(1)}^{(2)} \frac{dQ_1}{T} = mc \int_{T_1}^{T_{fin}} \frac{dT}{T} = 1,0 \cdot 4190 \ln \frac{323}{373} = -603 \text{ J/K}$$

È ragionevole che sia negativa poiché tale massa
di acqua ha ceduto calore -

$$\Delta S_2 = \int_{(1)}^{(2)} \frac{dQ_2}{T} = mc \int_{T_2}^{T_{fin}} \frac{dT}{T} = 1,0 \cdot 4190 \ln \frac{323}{273} = 705 \text{ J/K}$$

positivo perché tale massa di acqua ha
acquisito calore -

La variazione totale sarà

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = -603 + 705 = 102 \text{ J/K}$$

positivo perché quando prendo in considerazione
tutti i sottosistemi che prendono parte al processo
l'entropia aumenta per processi invernalibili e
rimane costante per processi reversibili -

L'aumento di entropia associato con ogni
processo "naturale" invernalibile minima l'aumento

del disordine ^{nell' "universo"} associato con quel processo - (3)
Vediamo ora cosa significa tale fase -

Nell'esempio dell'esercizio molto avremmo potuto usare l'acqua calda a 100°C e quella fredda a 0°C come "riserve" di calore per poter compiere un ciclo termodinamico e compiere lavori meccanici.

Ma una volta che l'acqua calda e quella fredda sono venute a contatto o si sono mescolate (il processo sarebbe stato entropicamente identico) e sono arrivate ad una temperatura uniforme, questa opportunità di convertire calore in lavori meccanici è persa immediatamente.

L'acqua tiepida a 50°C non si separerà mai più in una porzione a 100°C ed una a 0°C . D'altro lato non c'è stata nessuna diminuzione in energia quando l'acqua calda e quella fredda si sono mescolate.

Quello che si è perso non è energia ma opportunità, l'opportunità di convertire parte (e solo una parte in virtù del 2° principio della termodinamica) del calore dall'acqua calda in lavori meccanici. Quindi l'entropia aumenta, l'energia diventa meno disponibile, e l'universo diventa più disordinato. Il disordine è dovuto al fatto che non abbiamo più 1kg di acqua a 100°C da una parte ed 1kg di acqua a 0°C dall'altra ma un miscuglio di 2kg di acqua a 50°C .

Per capire meglio questi concetti di disordine facciamo un altro esempio di processo intrinsecamente irreversibile: un corpo solido in movimento che a causa dell'attrito si ferma.
Sappiamo bene che in questo processo l'energia

Si conserva in quanto l'energia cinetica del corpo si trasforma in energia interna del corpo e del primo scabro con aumento della temperatura.

Il corpo solido è formato da atomi che hanno una certa quantità di moto ^{ritorno alla posizione di equilibrio} casuale ma, durante il moto del solido, anche un moto "collettivo" netto. L'energia cinetica del solido durante il moto può essere usata per compiere lavoro. Quando a causa dell'attrito il corpo si è fermato:

- a) è aumentata la temperatura del corpo
- b) è aumentato il moto ^{intorno alla posizione di equilibrio} casuale degli atomi del corpo
- c) non c'è più il moto "collettivo" degli atomi
- d) ha perso l'opportunità di convertire l'energia cinetica del corpo in lavoro
- e) è aumentata l'entropia dell'universo.
- f) l'universo è più caotico perché ha perso il moto ordinato e "collettivo" ed è aumentata quella disordinata.