

Scambi di calore

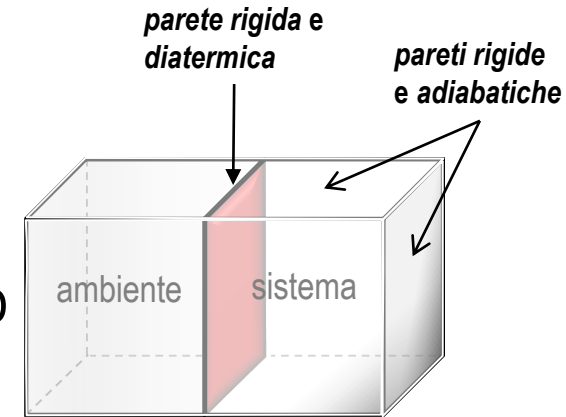
le proprietà generali delle trasformazioni termodinamiche valgono anche quando ci si limita a soli scambi di calore:

se il sistema e l'ambiente sono messi a contatto tra loro

tramite una superficie *rigida e diatermica* e se

ambiente e sistema sono isolati termicamente dall'esterno

si verifica sperimentalmente che



➤ cambiano col tempo le coordinate termodinamiche sia del sistema che dell'ambiente

➤ dopo un certo tempo cessa lo scambio di calore e le coordinate termodinamiche del sistema e dell'ambiente raggiungono valori che verranno mantenuti invariati nel tempo

si definisce stato di **equilibrio termico** lo stato di equilibrio raggiunto dal sistema a seguito del solo scambio di **calore** con l'ambiente

Principio zero della Termodinamica

gli stati di equilibrio termico godono della proprietà, detta

principio zero della termodinamica : dati tre sistemi termodinamici A , B e C

se il sistema termodinamico A
è all' **equilibrio termico**
con il sistema C

– e –

il sistema termodinamico B
è all' **equilibrio termico**
con il sistema C

si deve avere
sempre che



anche il sistema termodinamico A
è in **equilibrio termico** con il sistema B

ma e' una banale proprietà' di
transitivita del tipo:
se $A=C$ e $B=C$ allora anche $A=B$!
... e allora dove sta la fisica !?!

se il principio zero fosse l'espressione di una semplice proprietà di transitività
allora per transitività potremmo sostenere che:

se l'oggetto metallico A
viene attratto
dalla calamita C

– e –

l'oggetto metallico B
viene attratto
dalla calamita C

si deve sempre avere che :



anche l'oggetto A *attrarrà*
l'oggetto B verso di se'

sempre vero ???

il principio zero sembra una semplice proprietà transitiva

invece non è affatto ovvio e riveste una fondamentale importanza

per l'assetto logico della intera termodinamica classica

supponiamo che

x_1, x_2, \dots, x_l
siano le coordinate
termodinamiche
del sistema A

che y_1, y_2, \dots, y_m
siano le coordinate
termodinamiche
del sistema B

e che z_1, z_2, \dots, z_n
siano le coordinate
termodinamiche
del sistema C

se A e B sono all'equilibrio
termico tra di loro

se B e C sono all'equilibrio
termico tra di loro

se A e C sono all'equilibrio
termico tra di loro



deve esistere una funzione f_{AB}
delle coordinate termodinamiche
dei due sistemi A e B
tale per cui si abbia



deve esistere una funzione f_{BC}
delle coordinate termodinamiche
dei due sistemi B e C
tale per cui si abbia



deve esistere una funzione f_{AC}
delle coordinate termodinamiche
dei due sistemi A e C
tale per cui si abbia



$$f_{AB}(x_1 \dots x_l, y_1 \dots y_m) = 0$$



$$f_{BC}(y_1 \dots y_m, z_1 \dots z_n) = 0$$



$$f_{AC}(y_1 \dots y_m, z_1 \dots z_n) = 0$$

in generale $l \neq m \neq n$

Nota Bene:

in generale f_{AB} , f_{BC} e f_{AC} sono tre funzioni *del tutto diverse tra loro*

se vi fosse equilibrio termico tra AB , BC e AC cio' implicherebbe che

$$f_{AB} = 0 \quad - \text{e} - \quad f_{BC} = 0 \quad - \text{e} - \quad f_{AC} = 0$$

la condizione di equilibrio termico tra B e C e' esprimibile con una relazione del tipo:

$$f_{BC}(y_1 \dots y_m, z_1 \dots z_n) = 0$$



$$z_1 = g_{BC}(y_1 \dots y_m, z_2 \dots z_n)$$

cio' implica che le variabili $y_1, y_2, \dots, y_m, z_1, z_2, \dots, z_n$
non siano indipendenti tra di loro percio' potremo esprimere
una qualsiasi variabile, per es. la z_1 , in funzione delle restanti
 $m + n - 1$ variabili

matematica

la condizione di equilibrio termico tra A e C e' esprimibile con una relazione del tipo:

$$f_{AC}(x_1 \dots x_l, z_1 \dots z_n) = 0$$



$$z_1 = g_{AC}(x_1 \dots x_l, z_2 \dots z_n)$$

cio' implica che le variabili $x_1, x_2, \dots, x_l, z_1, z_2, \dots, z_n$
non siano indipendenti tra di loro percio' potremo esprimere
una qualsiasi variabile, per es. la z_1 , in funzione delle restanti
 $l + n - 1$ variabili

matematica

se B e C sono in equilibrio termico tra loro e allo stesso tempo A e C sono in equilibrio termico

tra loro bisogna che $f_{BC} = 0$ - e - che $f_{AC} = 0$

ma $f_{BC}(y_1 \dots y_m, z_1 \dots z_n) = 0$ e $f_{AC}(x_1 \dots x_l, z_1 \dots z_n) = 0$

$$\begin{matrix} \downarrow & & \downarrow \\ z_1 = g_{BC}(y_1 \dots y_m, z_2 \dots z_n) & & z_1 = g_{AC}(x_1 \dots x_l, z_2 \dots z_n) \end{matrix}$$

$$g_{BC}(y_1 \dots y_m, z_2 \dots z_n) = g_{AC}(x_1 \dots x_l, z_2 \dots z_n)$$

g_{BC} e g_{AC} sono funzioni *diverse*, ma con le $z_2 \dots z_n$ in comune e affinché due funzioni diverse delle stesse variabili siano *sempre* uguali tra loro bisogna che non dipendano da quelle variabili quindi $g_{BC}(y_1 \dots y_m, z_2 \dots z_n) = h_B(y_1 \dots y_m)$ e $g_{AC}(x_1 \dots x_l, z_2 \dots z_n) = h_A(x_1 \dots x_l)$

$$h_B(y_1 \dots y_m) = h_A(x_1 \dots x_l)$$

$$h_A(x_1 \dots x_l) - h_B(y_1 \dots y_m) = 0$$

per il *principio zero* della termodinamica equilibrio termico tra B e C e tra A e C implica che vi sia equilibrio termico anche tra A e B e cio' si esprime tramite la relazione $f_{AB}(x_1 \dots x_l, y_1 \dots y_m) = 0$ ma g_{BC} , g_{AC} e f_{AB} devono ridursi ad un' unica identica relazione dato che descrivono lo stesso stato fisico di equilibrio termico

$$f_{AB}(x_1 \dots x_l, y_1 \dots y_m) = 0 = h_A(x_1 \dots x_l) - h_B(y_1 \dots y_m)$$

matematica

fisica

lo stesso ragionamento si puo' fare partendo dall'equilibrio termico tra A e B e C e B e utilizzando il procedimento precedentemente usato si puo' affermare che

$$f_{AB}(x_1 \dots x_l, y_1 \dots y_m) = 0 = h_A(x_1 \dots x_l) - h_B(y_1 \dots y_m)$$

$$f_{BC}(y_1 \dots y_m, z_1 \dots z_n) = 0 = h_B(y_1 \dots y_m) - h_C(z_1 \dots z_n)$$

$$f_{AC}(x_1 \dots x_l, z_1 \dots z_n) = 0 = h_A(x_1 \dots x_l) - h_C(z_1 \dots z_n)$$

↓

$$h_A(x_1 \dots x_l) = h_B(y_1 \dots y_m) = h_C(z_1 \dots z_n)$$

↓

←

↓

ma h_A , h_B e h_C sono tre funzioni, diverse tra loro, di variabili termodinamiche in generale diverse tra loro ed e' possibile che siano uguali tra loro indipendentemente dal valore delle loro coordinate se e solo se assumono uno stesso valore costante, denominato come T_θ o θ

$$h_A(x_1 \dots x_l) = h_B(y_1 \dots y_m) = h_C(z_1 \dots z_n) = T_\theta$$

matematica

in conclusione : il principio zero della termodinamica afferma che :

per ogni sistema termodinamico esiste una funzione

delle sole coordinate termodinamiche di ogni particolare sistema che,

una volta raggiunto *l'equilibrio termico* tra sistemi

assume lo stesso valore T_θ costante nel tempo e comune ai vari sistemi

T_θ (o a volte semplicemente θ)

e' detta: *temperatura empirica*

rilevanza dal punto di vista pratico ?

all' equilibrio termico tra A e B $h_A(x_1 \dots x_l) = T_g$ e $h_B(y_1 \dots y_m) = T_g$

➤ estendendo la funzione $T_\theta = h(x_1 \dots x_n)$ non solo agli stati

fisica

di equilibrio termico, ma a tutti gli stati di equilibrio di un dato sistema

il principio zero permette di introdurre il concetto fondamentale di

temperatura empirica

dopo di che bastera' definire una specifica procedura empirica

per associare ad ogni stato di equilibrio un valore numerico di T_θ

Backup Slides