



Appunti di Fisica _I

Secondo semestre

Termodinamica

Trasformazioni

Sommario

Rappresentazione e trasformazione	1
Parliamo di trasformazioni.....	1
I cammini e le trasformazioni.....	2
Piano PV degli stati.....	2
Trasformazioni standard.....	3

Rappresentazione e trasformazione

Lo stato di un sistema è definito, all'equilibrio termodinamico, dai valori dei parametri V, P e T , che come sappiamo non sono tutti indipendenti. L'equazione di stato riduce a due i gradi di libertà del fluido termodinamico e quindi due parametri, per esempio (V, P) , sono sufficienti per rappresentarlo sul *piano di Clapeyron*. Naturalmente potresti scegliere, se ti fosse più conveniente per il problema che stai risolvendo, il piano (T, V) o (T, P) .

Supponiamo adesso che un tuo sistema ad un certo istante si trovi nello stato A e più tardi nello stato B , due stati ben definiti, di equilibrio termodinamico rappresentabili sul piano che hai scelto.

Diremo che il sistema ha effettuato una *trasformazione, spontanea o generata dall'ambiente esterno, se è passato dallo stato iniziale A a quello finale B* .

Parliamo di trasformazioni

Un gas, in un contenitore di volume V , è in uno stato macroscopico ben definito dai parametri V_0, P_0, T_0 e naturalmente è in *equilibrio termodinamico*. Questo stato è rappresentato da un *punto nello spazio degli stati* individuato dagli assi V, P, T (spazio tridimensionale) oppure da un punto sul piano (V, P) di Clapeyron. In questo ultimo caso, ricordo, T lo calcoliamo via l'equazione di stato.

Bene!

Tu hai deciso di cambiare lo stato del tuo sistema, per esempio diminuendone il volume, o cambiandone la temperatura o ambedue le cose. Alteri il sistema, manomettendolo per raggiungere il tuo scopo, ma nella transizione perdi lo stato di equilibrio termodinamico se non fai abbastanza attenzione, perchè cadi in situazioni che sono disomogenee, per distribuzione dell'energia o densità delle particelle. Immagina veramente di scaldare il gas appoggiando il contenitore su di una piastra infuocata, ebbene prima che il calore si sia propagato in modo uniforme su tutto il volume hai



bisogno di un attimo di tempo! Avrai zone con temperature diverse contrariamente a quanto deve accadere per uno stato in equilibrio. Sei in uno "transiente" in cui le variabili di stato macroscopiche (V,P,T) non hanno tutte o almeno alcune un valore definito! e pertanto non sai come individuare il tuo stato in quell'attimo e come localizzarlo nel tuo spazio degli stati.

Si possono fare infiniti esempi di trasformazioni, quasi sempre repentine, che danno origine a situazioni di *disequilibrio transitorio*. Attendendo un tempo sufficiente il sistema ritorna comunque all'equilibrio termodinamico e magari proprio nello stato desiderato.

Esempio: decidi di dimezzare il volume e la temperatura del tuo sistema .

Operativamente "schiacci" il contenitore fino a ridurlo a $V_0/2$ e metti il tutto in un frigorifero a temperatura $T_0/2$, aspetti un'ora affinché il sistema raggiunga la temperatura del frigo. La pressione rimisurata al termine come si può calcolare dalla equazione di stato è ancora P (infatti si dimezza il volume, ma anche la temperatura) e i nuovi valori delle variabili di stato all'equilibrio devono soddisfare giustamente $PV=nRT$. Certamente gli stati intermedi per realizzare la trasformazione erano fuori equilibrio: primo per lo schiacciamento improvviso che ha creato nel volume disomogeneità di popolazione e secondo per la procedura di raffreddamento: abbiamo immerso il sistema nel frigo creando internamente al gas correnti di fluido non certamente omogenee.

In effetti potremmo decidere di passare da uno stato ad un altro alterando i parametri in successione arbitraria, *ma abbastanza lentamente*, tanto che ogni stato intermedio sia praticamente ancora uno stato di equilibrio. Per esempio la trasformazione di prima, la potremmo fare diminuendo il volume in passi piccoli e raffreddando il tutto a temperature via via minori fino a raggiungere lo stato finale voluto. Tra l'altro potremmo fare una trasformazione a pressione costante se stiamo attenti a ridurre ad ogni passo, sia il volume che la temperatura dello stesso fattore.

Una trasformazione operata con questa cautela la si può rappresentare nello spazio V,P,T o più semplicemente sul piano V,P con una serie infinita di punti connessi da una curva. Il sistema, infatti, parte dallo stato iniziale e arriva allo stato finale passando per una successione infinita di stati di equilibrio rappresentati dai punti che costituiscono il cammino tracciato sul piano V,P. Nel caso di sopra e cioè di una trasformazione a pressione costante, il cammino è dato da una retta parallela all'asse V, ma in effetti avremmo potuto scegliere una serie di trasformazioni diverse e quindi cammini diversi, ma altrettanto validi per arrivare allo stesso punto finale.

Il cammino non è unico perchè dipende dalla nostra strategia scelta nell'operare la trasformazione, ma il bello di questi cammini è che *possono essere percorsi a ritroso* quando si desidera ritornare nello stato iniziale *ripetendo i passi rigorosamente in successione inversa* e riproducendo così, sempre in ordine inverso, la stessa serie infinita di stati di equilibrio incontrati nella prima trasformazione diretta.

*Questi cammini individuano trasformazioni che denomineremo **reversibili**, mentre quelle trasformazioni, generate con transienti non di equilibrio, verranno chiamate **irreversibili**.*

Irreversibili proprio perchè si passa attraverso stati che sono fuori del nostro controllo! e che non saremo quindi mai in grado di ripetere.

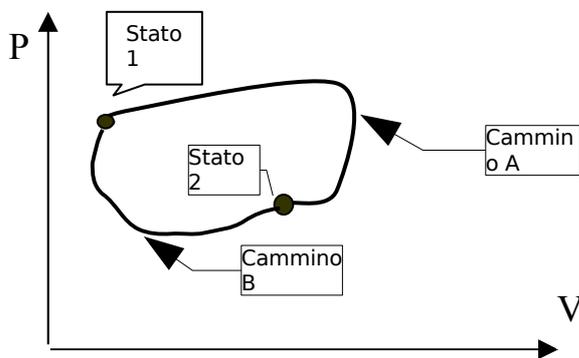
I cammini e le trasformazioni



Le trasformazioni possono essere eseguite in modo diversissime, tuttavia alcune di esse che vengono eseguite in condizioni e con attenzioni particolari hanno caratteristiche comuni e ricadono sotto una stessa categoria.

Intanto, come accennato sopra, conviene rappresentare il cammino di una trasformazione su di un piano, per esempio sul PV.

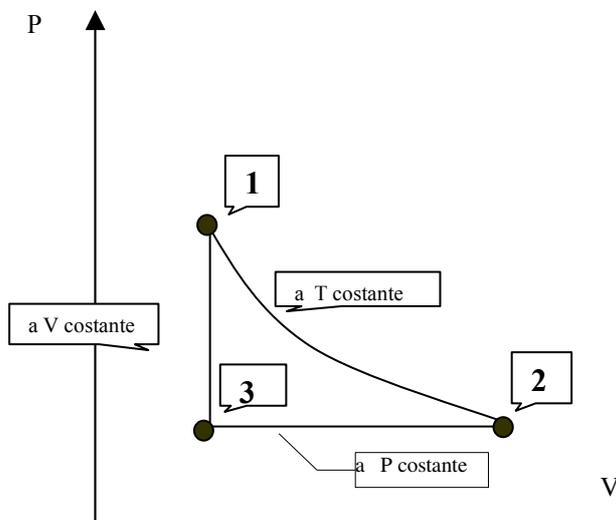
Piano PV degli stati



Lo stato 2 si raggiunge da 1 via il cammino A o il cammino B e poichè i cammini possono essere percorsi in uno dei due sensi si può fare una trasformazione chiusa con un cammino da 1-> 2 lungo A e da 2-> 1 lungo B.

Trasformazioni standard

Spesso si usano, invece di trasformazioni generiche, cammini particolari che portano allo stesso risultato, ma che sono più semplici per fare i conti. Ecco per esempio il cammino che va da 1 a 2 con trasformazioni a temperatura costante, da 1 a 3 a volume costante e da 2 a 3 a pressione costante.





Le tre trasformazioni si chiamano

- A pressione costante : **isobara**
- A volume costante: **isocora**
- A temperatura costante: **isoterma**

Si tratta in tutti i casi di trasformazioni senza scambio di materia con l'esterno, ma con scambio di calore e/o lavoro. Il sistema si può pensare in un contenitore *con pareti conduttrici*.

Vi sono invece altre trasformazioni, non meno importanti, in cui il sistema non scambia calore con il mondo esterno, si parla allora di trasformazione adiabatica o ("adiatermica" ma in disuso)

- Senza trasferimento di calore: **adiabatica**

Qui il contenitore ha pareti *perfettamente isolanti*. Tuttavia il sistema può scambiare energia meccanica con l'esterno. Esempio un gas che si espande spingendo un cilindro senza però scambiare calore.

Infine il sistema che non scambia calore, nè energia meccanica con l'esterno, proprio non interagisce con il mondo esterno:

- Senza lavoro nè calore : **isolata**

Nel seguito ritorneremo sulla storia dei cammini e faremo largo uso delle possibili trasformazioni.