

Energia Totale

$$U = \frac{3}{2} n R T$$

Teoria cinetica dei gas perfetti

$$dU = n C_V dT$$

per un gas perfetto

da ~~U = n C_V T~~ cui

$$U = n C_V T + cost$$

quanto vale? Esule l'ipotesi di punto zero

$$\Rightarrow C_V = \frac{3}{2} R$$

particelle di gas

se cost = 0 $\Rightarrow U = 0$ & $T = 0!$

$C_V < 0$?

Quando $C_V > 0$ significa in accordo con la 1^a legge

$$dU = dQ - dL$$

che $dL > dQ$ e quindi il lavoro è superiore

al calore somministrato (l'energia interna aumenta)

Un caso particolare in cui $dL = dQ$

Una stella può esistere calore ed aumentare

la propria temperatura $\Rightarrow C_V < 0$ in quanto

in un compressione e quindi il lavoro

fatto sulla stella è superiore al calore emesso.

~~The source for the derivation of the equation is not clear...
The source for the derivation of the equation is not clear...
The source for the derivation of the equation is not clear...~~

DOMANDA: MA QUANTO VALE C_V, C_P ?

VIII/6

Aspetti microscopici

- Abbiamo visto che per una molecola monoatomica senza interazioni, uniforme, etc... GAS PERFETTO

$$\bar{\epsilon} = \frac{3}{2} kT$$

~~e l'energia interna si ottiene moltiplicando per N~~

$$U = N \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} nRT$$

Una molecola monoatomica ha 3 gradi di libertà e se noi ipotizziamo che non vi siano direzioni privilegiate possiamo pensare che ogni "grado di libertà" abbia una energia media

$$\bar{\epsilon} = \frac{1}{2} kT$$

Esiste un TEOREMA DI EQUIPARTIZIONE che afferma che ogni termine quadratico indipendente della nostra energia interna ha un valore medio $\frac{1}{2} kT$. Questo, nel nostro caso (molecola monoatomica) si traduce in quanto già visto dalla teoria cinetica dei gas

$$U = N \cdot 3 \cdot \bar{\epsilon} = \frac{3}{2} nRT$$

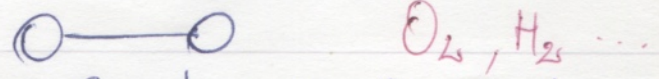
da questa è facile ricavare il calore molare a volume costante

$$C_V = \frac{1}{n} \left(\frac{\partial Q}{\partial T} \right)_V = \frac{1}{n} \frac{dU}{dT} = \frac{3}{2} R$$

da cui

$$C_P = C_V + R = \frac{5}{2} R$$

Come è fatta una molecola biatomica?



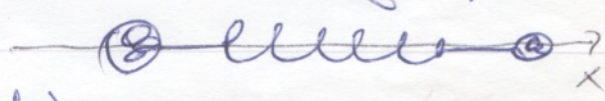
In questo caso le due molecole hanno 3+3 gradi di libertà meno 1 perché sono legate (in questo caso rigidamente), l'energia di questo sistema è data dal termine cinetico di traslazione (3) e di rotazione (2). C'è anche trascurabile la rotazione ~~gruppo~~ ^{gruppo} ~~atom~~ ^{atom} e l'energia che collega le due molecole. e quindi per il gas biatomico è

$$U = 5 \cdot N \cdot \bar{\epsilon} = \frac{5}{2} nRT$$

da cui

$$c_v = \frac{5}{2} R \quad e \quad c_p = \frac{7}{2} R$$

Se inoltre il ~~legame~~ ^{legame} ~~mezzo~~ ^{mezzo} è di tipo elastico, avremo un termine di energia cinetica di oscillazione col un termine ^{mezzo} di energia potenziale elastica

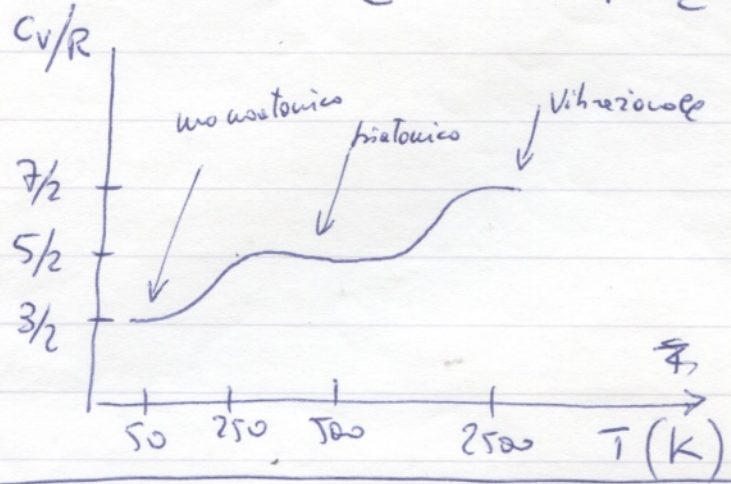


e quindi

$$c_v = \frac{7}{2} R \quad e \quad c_p = \frac{9}{2} R$$

$$E = E_k + U_{elastica} = \frac{1}{2} m \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \frac{1}{2} k x^2$$

$$\langle E_k \rangle + \langle U_{elastica} \rangle = \frac{1}{2} kT + \frac{1}{2} kT$$



IDROGENO

MA UNA CORRETTA SPIEGAZIONE SI HA SOLO NEL CAMPO DELLA MECCANICA QUANTISTICA

quello che noi possiamo certamente osservare è che vi sono diversi modi di immagazzinare l'energia interna e che questi dipendono dalle caratteristiche strutturali della materia.

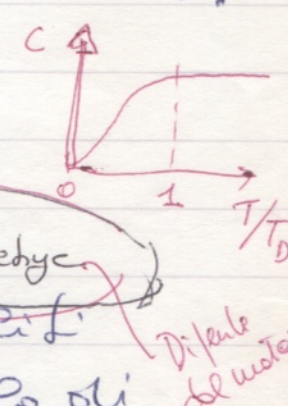
Quindi, con l'aumentare della temperatura, nel caso dell'idrogeno si aprono nuove opportunità di stoccaggio dell'energia. Questo dimostra che $C_V = C_V(T)$ e che l'approssimazione $C_V = 3R$ è solo una condizione di opportunità per i calcoli.
 CONGELAMENTO DEI GRADI DI LIBERTÀ → FREEZE OUT

Nei solidi abbiamo visto la legge di Dulong e Petit ~~per i solidi~~

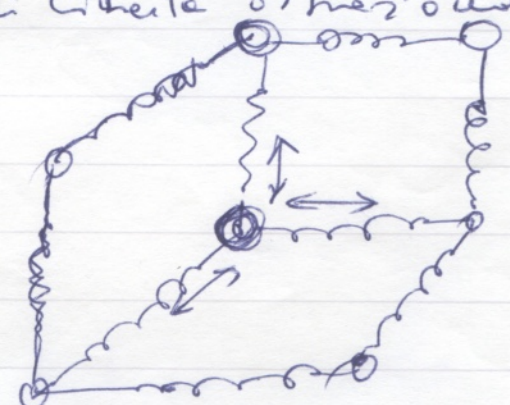
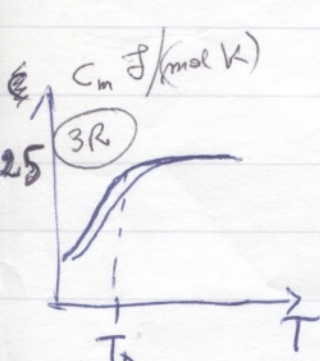
$$C_V = C_P = 3R$$

per $T > T_{Debye}$

Se noi ipotizziamo le molecole dei solidi NON in grado di muoversi solo di oscillare nelle tre direzioni, abbiamo un'oscillazione tridimensionale e quindi 3 gradi di libertà vibrazionali e 3 potenziali elastici.



Dipende dal materiale



$$U = 6 \cdot N \cdot \bar{\epsilon} = 3nRT$$

$$C_V = 3R$$

Questo solo per $T > T_D$ (Temperatura di Debye)

Dulong et Petit: 1819 (NON SI CONOSCEVA R!!!)

Einstein: 1907 Teorizzazione della lattice theory

1834 by Calpegnon

lattice ↔ continuo
 Reciproca ↑ Reciproca ↑
 crystal atoms, nuclei, portions...