

# CORSO DI FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA

## PANORAMICA SULLA FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA

Anche se conoscessimo e comprendessimo a pieno tutte le leggi fondamentali della natura e potessimo identificare tutte le particelle elementari non potremmo spiegare con questo tutti i fenomeni fisici. Quello che noi osserviamo come un unico fatto (numero di particelle dell'ordine di  $10^{27}$  particelle (numero di particelle presenti in un litro di acqua) e c'è poca speranza di trovare una soluzione analitica associata al loro moto. Inoltre non apparirebbe comunque utile dato l'alto numero di particelle coinvolte. Ha invece senso osservare variabili macroscopiche come densità di particelle, di magnetizzazione etc. e misurare le loro fluttuazioni e le loro risposte a campi esterni. Attraverso questi osservabili distinguiamo i molti e differenti stati termodinamicamente stabili della materia. In liquid come no, i solidi sono rigidi, ~~della~~ ~~materia~~ ~~sono~~ e trasparenti, di colore etc. I solidi possono essere isolanti, metallici o semiconduttori e possono essere cristallini <sup>quasi cristallini</sup> o amorfi, e così via. La fisica della materia condensata ci offre gli strumenti per descrivere e determinare cosa succede ad un gran numero di particelle quando interagiscono attraverso forze note. In natura <sup>le varietà</sup> di sistemi a molti corpi sono illimitate. Si va dai gas diluiti e i solidi quantistici alle cellule viventi e ai plasmi quark-gluoni. Materia condensata costituita perfino dai più semplici atomi della tavola periodica  $g^0$  esiste in un numero di stati diversi.

Per esempio l'elio può essere trovato in forma gassosa, liquida e solida ma anche in forma liquida non viscosa a temperature bassissime: l'elio superfluido - si vede trasparente e levitante.

La fisica della materia condensata studia tutti questi stati e molti aspetti della materia interagente. Rivela conoscenza del comportamento atomico e molecolare e si fonda sulla meccanica classica e quantistica. Ma poiché studia soprattutto proprietà microscopiche piuttosto che termodinamiche e moti di particelle singole si fonda sulla meccanica statistica e sulla termodinamica.

SEGUIAMO UNA SOSTANZA ATTRAVERSO I SUOI CAMBIAMENTI DI STATO: L'ACQUA.

L'ideale per un fisico sarebbe l'argon: shell elettronica completa, forma sfericamente simmetrica, interazioni interparticella isotrope. Ma la nostra esperienza di tutti i giorni sugli stati dell'acqua e sulle sue transizioni di fase è più estensiva.

A temperature alte l'acqua è vapore acqueo.

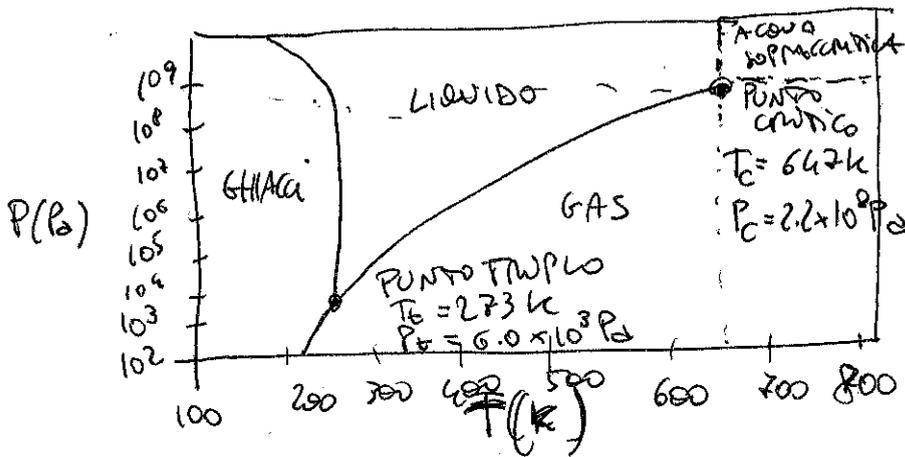
La sua energia cinetica domina sulla sua energia potenziale e come risultato esiste uno stato isotropo e omogeneo ~~che~~ neppure qualsiasi volume può essere offerto come contenimento. La densità è uniforme e c'è la stessa probabilità di trovare una molecola ovunque nel volume in cui il vapore acquoso <sup>è</sup> ~~è~~ <sup>richiuso</sup>. Le particelle sono fra loro poco compatte e <sup>il gas</sup> ~~si fonde~~ ~~ideale~~ ~~ogni~~ particella ignorerebbe completamente la presenza delle altre.

Il vapore acqueo, se lo guardiamo nell'atmosfera, non è visibile. Se qualche sostanza non ha assorbimento diretto nelle frequenze ottiche infatti per essere vista

dei diffondere la luce. Questo vuol dire un mismatch nell'indice di rifrazione su una qualche distanza. (3)

Ora abbiamo la temperatura e cioè l'energia cinetica media. Non meno che il contributo di energia potenziale nell'Hamiltoniano comincia a pesare interazioni intermolecolari specifiche iniziano ad aver un ruolo. L'acqua è dominata dall'esistenza del legame idrogeno, un legame direzionale di tipo attrattivo. Le molecole tendono a stare vicine. L'energia e l'entropia decrescono e la densità si aumenta e la densità è ancora uniforme ma solo se meditata su regioni di spazio più ampie ed intervalli di tempo più lunghi rispetto alla fase gassosa. La principale quantità fisica che distingue un liquido da un gas è la ~~tra~~ densità.

### DIAGRAMMA DI FASE DELL'ACQUA



vd. anche Fig. 2  
terzo 1

Se raffreddiamo successivamente l'ordine locale diventa più importante. L'acqua in particolare per la sua natura ha tendenza a formare tetraedri.

Come si vede dal diagramma di fase al di sotto di certe pressioni e temperature il liquido solidifica. L'acqua può formare (dipendendo da  $T$  e  $P$ ) tre tipi di ghiaccio.

Intorno a  $P_{sub}$  solidifica in ghiaccio esagonale

I solidi non scendono, sono rigidi e resistono  
alle deformazioni. Le molecole sono disposte in  
maniera uniforme e ripetitiva intorno a posizioni  
di un reticolo periodico. Nota la posizione di una molecola  
si possono calcolare  
La struttura planare esagonale del ghiaccio e tutte  
quella responsabile della faccetta piana e della  
simmetria rotazionale a sei piani che trovano nei  
cristalli di ghiaccio dei fiocchi di neve.  
In un cristallo le molecole (atomi) possono vibrare ma  
non diffondere.

Il cristallo non è isotropo ed è omogeneo.  
Ha una simmetria più bassa del liquido.

Prima di passare a parlare dei cristalli introduciamo  
lo stato amorfo o vetroso raggiunto attraverso il  
soffocamento di un liquido che passa  
da uno stato stabile ad uno metastabile.  
È possibile, quando si raffredda un liquido,  
bypassare la cristallizzazione attraverso cooling rates  
molto elevati. Questi cooling rates impediscono al  
liquido di andare verso lo stato ad energia più  
bassa (quello cristallino) che è stabile e lo  
congelano in uno stato disordinato o amorfo.  
Una mano che sottoraffredda la velocità di  
diffusione degli atomi di ossigeno e quando  
la viscosità (legata all'inverso del coeff. di diffusione)  
è  $\sim 10^{13}$  POISE.