

# Lez 10 02/11/2016

- Lezioni in [http://www.fisgeo.unipg.it/~fiandrini/didattica\\_fisica/did\\_fis1617/](http://www.fisgeo.unipg.it/~fiandrini/didattica_fisica/did_fis1617/)

# Solido e fluido

I corpi non sono in realta' continui, ma discreti a causa della natura atomica della materia. Le caratteristiche macroscopiche come la forma e volume o, come si dice, gli stati di aggregazione, dipendono dalla natura delle interazioni a livello atomico e molecolare, cioe' microscopico.

**Solidi** → **forza di legami tra i componenti atomi o molecole tale che restano fisse o oscillano attorno a posizione di equilibrio . Solidi difficili da deformare alto valore di modulo di Young**

**Liquidi** → **legame meno forte, componenti si muovono, ma restano legati (no forma propria, impossibilità a resistere a sforzo di taglio, incompressibilità)**

**Gas** → **molecole in movimento e molto distanti tra loro. Forze intermolecolari decrescono con distanza, non riescono a tenere legate le molecole (no forma e volume proprio, facilmente compressibili, no resistenza a sforzi di taglio)**

# Passaggi di stato

Lo stato di aggregazione non e' immutabile, si puo' passare da uno stato di aggregazione all'altro con continuita'.

Cioe' un corpo, un sistema fisico puo' passare dallo stato solido a quello fluido e viceversa, come risultato delle sue interazioni con l'ambiente circostante, cioe' come risultato dei suoi scambi di energia con l'ambiente.

Sono ben noti:

Solido → liquido : fusione (inverso: solidificazione)

Liquido → gas : evaporazione (inverso: condensazione)

Solido → gas : sublimazione (inverso: brinamento)

A questo punto, pero', occorre sviluppare dei concetti nuovi per spiegare questi fenomeni prima di procedere con lo studio delle proprietà dei fluidi.

# Termodinamica: introduzione

- Prendete un cubetto di ghiaccio dal frigorifero e poggiatelo sul tavolo.  
Potete misurare varie grandezze meccaniche:
  - massa, volume, densità, forza normale,  
coefficiente di attrito, etc...
- Allontanatevi ... tornate ... trovate una pozza d'acqua al posto del cubetto di ghiaccio.
- Con i concetti studiati in meccanica non si riesce a spiegare in modo “semplice” il fenomeno.

# Termodinamica: introduzione

- Prendete un gas, aria per esempio e riempitene un pallone.
- Scaldate l'aria nel pallone, p es con una fiamma (come negli aerostati).
- Il pallone si dilata (se non e' rigido), non ruota, non trasla → il suo centro di massa non si sposta...ma qualcosa nello stato del sistema e' cambiato: se ora sganciamo il pallone dall'ancoraggio a terra, esso sale (se e' "caldo" abbastanza)!
- Poiche' non si e' spostato durante il tempo in cui la fiamma e' stata a contatto con l'aria nel pallone, la sua energia meccanica e' rimasta la stessa. Da dove ha preso l'energia per salire contro la gravita'?

Anche in questo caso, le leggi della meccanica non riescono a spiegare in modo semplice il fenomeno

# Termodinamica: introduzione

Per descrivere questi processi e altri simili si puo' osservare che i sistemi in questione sono formati da un gran numero di particelle (molecole, atomi) che costituiscono il corpo delle quali non interessa conoscere singolarmente, istante per istante, lo stato di moto, mentre si desidera conoscere il comportamento globale dell'insieme nel processo in esame, come il riscaldamento e la fusione. Un sistema del genere viene descritto mediante un numero limitato di grandezze fisiche, la cui introduzione e' suggerita dall'esperienza (volume, pressione, temperatura,...). La descrizione del processo in questi termini conduce alla termodinamica

Occorre introdurre nuove grandezze fisiche per descrivere questi processi, come per esempio:

- Temperatura
- Calore

# Termodinamica: definizione

- Studia il **bilancio energetico** di sistemi fisici nel modo più generale, compresi scambi di energia non meccanici (**calore**)
- La termodinamica è quella parte della fisica che studia il comportamento di sistemi complessi composti, da un punto di vista microscopico, da un numero molto elevato di **particelle**, utilizzando poche grandezze fisiche macroscopiche complessive del sistema (termodinamico) stesso, come volume, pressione, densità, temperatura,...).

# La Termodinamica

Esperienze come quelle descritte nell'introduzione suggeriscono che i processi visti dipendano dallo stato "termico" del corpo, distinto da quello meccanico.

**Lo stato termico del corpo e' misurato da una nuova grandezza fisica, la temperatura**

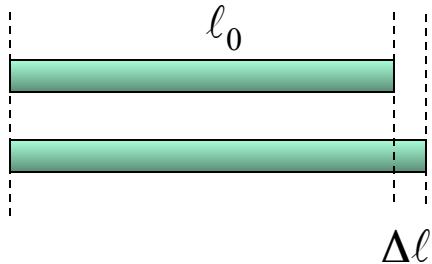
I concetti di stato termico e temperatura sono suggeriti anche dalle sensazioni che si provano nel toccare corpi in diversi stati termici (provate a toccare un pezzo di ferro incandescente o lo stesso pezzo immerso in un bagno di azoto liquido...), le quali vanno rese oggettive mediante l'uso di appositi strumenti

# Temperatura

- La grandezza fisica temperatura deve essere definita operativamente, cioe' definendo le modalita' con cui viene misurata
- Partiamo da osservazioni sperimentali:
  - Se poniamo due corpi, uno che “sentiamo” più caldo e uno che “sentiamo” più freddo, a contatto essi pervengono ad uno stato di equilibrio termico, cioe' si trovano nello stato termico, dopo un tempo suff lungo.
  - Possiamo dire che la grandezza temperatura (non ancora ben definita!) assume in questo caso lo stesso valore per entrambi i corpi
  - Al variare dello stato termico variano i valori che assumono certe grandezze fisiche come lunghezza, volume, densita', etc..

# Termologia

Dilatazione termica. E' una delle proprietà termometriche con cui si misura la temperatura



$$\Delta\ell = \ell_0 \lambda \Delta T$$

$$\lambda = \frac{1}{\ell_0} \frac{\Delta\ell}{\Delta T}$$

coefficiente di  
espansione lineare.

Esempi ( $\lambda$  in  $K^{-1}$ ):

acciaio	$1.1 \cdot 10^{-5}$
rame	$1.7 \cdot 10^{-5}$
vetro pyrex	$3.2 \cdot 10^{-6}$

In generale  $\lambda > 0$  (il riscaldamento provoca espansione, quasi sempre). Per l'espansione volumica:

$$\Delta V = V_0 \alpha \Delta T$$

$$\alpha = \frac{1}{V_0} \frac{\Delta V}{\Delta T} = (1 + \lambda)^3 - 1 \approx 3\lambda$$

Esempi:

acqua	$1.8 \cdot 10^{-4}$
Alcool etilico	$10.4 \cdot 10^{-4}$
Hg	$1.8 \cdot 10^{-4}$

E' ciò che si sfrutta nei termometri a mercurio

# Misuriamo la Temperatura

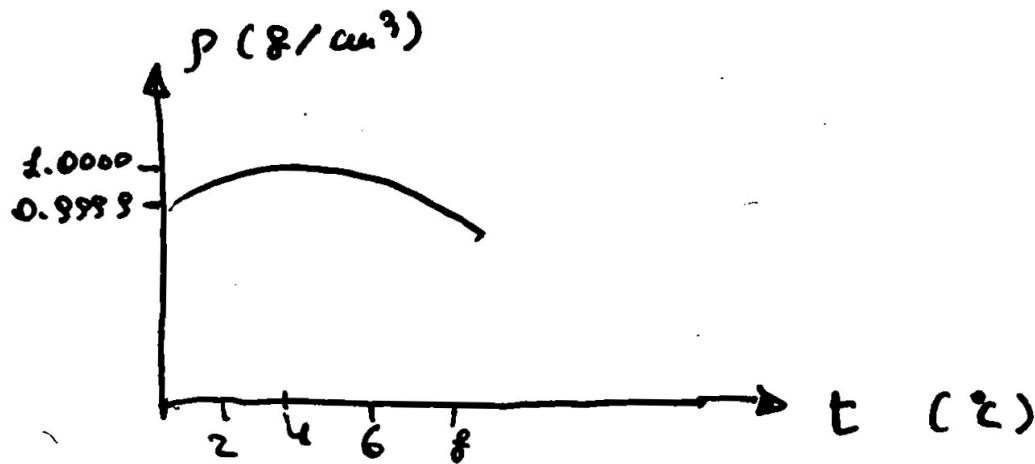
- Possiamo quindi usare un corpo (sostanza termometrica) e mettere in relazione la variazione di una grandezza fisica (proprietà termometrica) con la variazione di dello stato termico di un corpo e costruire uno strumento (**termoscopio**) per misurare lo stato termico del corpo
- Diremo che due corpi o sistemi si trovano nello stesso stato termico, cioè hanno la stessa temperatura, se posti successivamente a contatto con il termoscopio, la grandezza termometrica assume lo stesso valore per ciascuno di essi (p. es lo stesso allungamento di una sbarra metallica, la stessa dilatazione di un volume di mercurio,...)

# Comportamento anomalo dell'acqua

A  $T > 4^\circ\text{C}$ , l'acqua si espande come tutte le sostanze. Fra 0 e  $4^\circ\text{C}$  invece si contrae → a  $T > 4^\circ\text{C}$  la densità diminuisce, a  $T < 4^\circ\text{C}$  aumenta, cioè a  $T = 4^\circ\text{C}$  la densità ha un max.

Questo fa sì che l'acqua cominci a gelare dalla superficie : man mano che l'acqua di superficie viene raffreddata, per esempio a partire da  $10^\circ\text{C}$  verso il punto di congelamento, essa diventa più densa e quindi affonda.

Sotto i  $4^\circ\text{C}$  però ulteriori raffreddamenti rendono l'acqua meno densa dell'acqua che sta sotto, perciò rimane in superficie fintanto che ghiaccia. Il ghiaccio è meno denso dell'acqua perché quando ghiaccia l'acqua aumenta di volume



Se i laghi gelassero a partire dal fondo, il ghiaccio così formato non si scioglierebbe durante l'estate essendo isolato dall'acqua soprastante. Dopo pochi anni molti laghi delle zone temperate sarebbero completamente gelati tutto l'anno... la vita aquatica sarebbe completamente diversa e forse non ci sarebbe

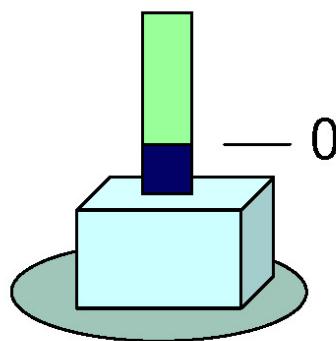
# Principio Zero della Termodinamica

- Con lo strumento (termometro) che ci siamo appena costruiti, possiamo verificare se due corpi sono alla stessa temperatura, cioè sono all'equilibrio termico fra di loro.
- Si trova che:  
**Se un corpo A è all'equilibrio termico con un corpo B, e il corpo B è all'equilibrio termico con un corpo C, allora A è all'equilibrio termico con C.**
- La legge zero viene utilizzata continuamente, infatti si misura la temperatura del termometro che si suppone all'equilibrio termico con il corpo e la si chiama "temperatura del corpo"

# Scale Termometriche

- Abbiamo visto come possiamo misurare (in maniera approssimata) la temperatura
- Dobbiamo definire una scala termometrica
- Esistono almeno 3 diverse scale termometriche usate nel mondo... **Scala Centigrada o Celsius, assoluta o Kelvin, e fahrenheit:**
  - Si sceglie come  $0^{\circ}\text{C}$  e  $100^{\circ}\text{C}$  la temperatura di fusione ed ebollizione dell'acqua alla pressione di 1 atmosfera
  - Gli americani usano invece la scala Fahrenheit dove le 2 temperature suddette sono rispettivamente  $32^{\circ}\text{F}$  e  $212^{\circ}\text{F}$
- La scala Celsius è anche quella che più rispecchia l'andamento della scala assoluta delle temperature (che ancora dobbiamo definire)

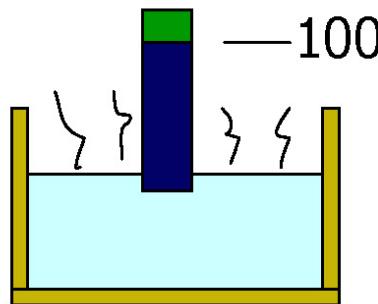
- Mettiamo a contatto il termometro a mercurio con un cubetto di ghiaccio che sta fondendo:



All'altezza raggiunta dal mercurio nel tubicino si fa corrispondere la temperatura di 0 °C

## Taratura del termoscopio: scala Celsius

- Mettiamo ora a contatto il termometro con l'acqua che sta bollendo:



All'altezza raggiunta dal mercurio nel tubicino si fa corrispondere la temperatura di 100 °C

- Si divide ora la distanza tra 0 °C e 100 °C in 100 parti uguali, in modo tale che il grado Celsius (centigrado) corrisponda alla centesima parte della differenza di temperatura tra il ghiaccio che fonde e l'acqua che bolle.
- Problema: l'acqua non bolle sempre alla stessa temperatura, ma dipende dalla pressione atmosferica.

# Scala Fahrenheit

- Negli Stati Uniti utilizzano una diversa scala per misurare la temperatura:

- la temperatura del ghiaccio fondente è 32 °F
- la temperatura dell'acqua che bolle è 212 °F
- la differenza di temperatura tra questi due punti è 180 °F.

- Quindi  $\Delta T = 100 \text{ } ^\circ\text{C} = 180 \text{ } ^\circ\text{F}$

$$\Rightarrow 1 \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{180}{100} \text{ } ^\circ\text{F} = \frac{9}{5} \text{ } ^\circ\text{F} = 1.8 \text{ } ^\circ\text{F}$$

- Per passare da  $^\circ\text{C}$  a  $^\circ\text{F}$  si fa:

$$T_F = 1.8 T_C + 32$$

- Per passare da  $^\circ\text{F}$  a  $^\circ\text{C}$  si fa:

$$T_C = (T_F - 32) \cdot 5/9$$

esempio: 100 °F -> °C

$$T_C = (100 - 32) \cdot 5/9 = 37.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

# Il Calore

- Sappiamo sperimentalmente che dati due corpi a temperatura diversa, messi a contatto fra loro, raggiungono l'equilibrio termico (cioe' la stessa temperatura) dopo un tempo sufficientemente lungo
- Questo era spiegato (nel 18<sup>o</sup> secolo) come il flusso di un fluido invisibile ed imponderabile da un corpo all'altro, il **calorico**
- La **teoria del calorico** prevedeva che questo fluido fosse contenuto nei corpi e passasse da un corpo all'altro
- La teoria del calorico fu dimostrata erronea con gli esperimenti di Joule sull'equivalenza fra calore ed energia

# Il Calore ed energia

- La temperatura di un corpo cambia come risultato dello scambio di calore con l'ambiente esterno
- La variazione e' dovuta allo **scambio di energia di natura non meccanica** tra il sistema e l'ambiente esterno.
- Questa energia e' **energia interna del sistema**, dovuta alla somma delle energie cinetiche e potenziali associate ai moti delle particelle fondamentali (molecole, atomi) che costituiscono il corpo macroscopico
- L'energia interna scambiata da un sistema all'altro a causa delle differenze di temperatura fra l'ambiente e il sistema prende il nome di calore, mentre quella scambiata scambiata senza che siano implicate differenze di T e' chiamata lavoro (per es se comprimo un gas con un pistone devo fare lavoro meccanico)

# Termodinamica

- A questo punto si chiarisce meglio il significato della definizione data
- Studia il **bilancio energetico** di sistemi fisici nel modo più generale, compresi scambi di energia non meccanici (**calore**), dato che i sistemi TD possiedono energia interna
- La termodinamica è quella parte della fisica che studia il comportamento di sistemi complessi composti, da un punto di vista microscopico, da un numero molto elevato di **particelle**, utilizzando poche grandezze fisiche macroscopiche complessive del sistema (termodinamico) stesso, come volume, pressione, densità, temperatura,...).

# Capacità Termica e Calore Specifico

- Somministrando una certa quantità di calore  $Q$  ad un corpo di massa  $m$ , si nota che esso varia la sua temperatura di una quantità  $\Delta T$  tale che:

$$\Delta T = \frac{Q}{C}$$

- La grandezza  $C$  è detta **Capacità Termica**.
- Si nota che la variazione di temperatura ottenibile dipende, a parità di materiale, dalla massa del corpo in questione, cioè  $C$  dipende da  $m$ .
- Si definisce allora il **Calore Specifico c** come:

$$c = \frac{C}{m} \Rightarrow \begin{cases} C = \frac{Q}{\Delta T} & \text{c e' una proprieta' intrinseca} \\ & \text{del sistema TD} \\ c = \frac{1}{m} \frac{Q}{\Delta T} \end{cases}$$