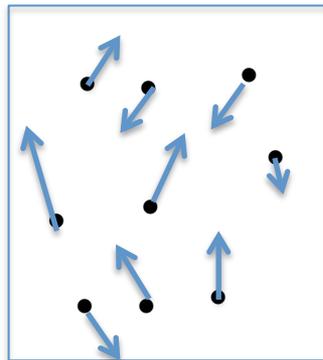


TERMODINAMICA

- Partiamo subito da un esempio concreto: un recipiente che contiene una certa quantità di un fluido: per esempio, una bombola contenente un gas.

All'interno vi sarà un numero estremamente elevato di molecole N ($N \gg 10^{23}$); ciascuna molecola ha la sua velocità ed è libera di muoversi in qualsiasi direzione. Da un punto di vista della meccanica per conoscere questo sistema dovrei sapere per ciascuna molecola la sua posizione (3 coordinate) e la sua velocità (altre tre quantità corrispondenti alle tre componenti della velocità) per un totale di ben $6N$ quantità!! È praticamente impossibile.



TERMODINAMICA

- **Stato termodinamico:** ma in termodinamica quello che ci interessa sapere in realtà sono delle quantità che descrivono il sistema da un punto di vista macroscopico (medio). Ci interessa sapere: pressione p , volume V , massa m , e **temperatura T** . **Quindi lo stato termodinamico del sistema è più semplice di quello meccanico microscopico.**

Variabili termodinamiche: es. massa (m), pressione (p), volume (V), temperatura (T)

Infatti si noti che mentre le molecole all'interno del gas si muovono continuamente, e quindi lo stato meccanico varia nel tempo, lo stato termodinamico (specificata la pressione, il volume, la massa e la temperatura) rimane invariato.

(in realtà vedremo che c'è però una connessione molto profonda tra lo stato meccanico delle singole molecole e lo stato termodinamico del sistema)

- N.B.: quando parliamo di stato termodinamico si parla di uno stato interno del sistema (la pressione, la temperatura). Che la bombola di gas sia in moto o sia ferma, il suo stato termodinamico è lo stesso (se le sue variabili termodinamiche sono le stesse).

TEMPERATURA

- La temperatura è una grandezza fisica che non appare in meccanica. È una grandezza fisica termodinamica.
- **Come si definisce operativamente la temperatura di un corpo?**
In base ad alcune proprietà che si osservano sperimentalmente.
- Intanto si possono costruire degli strumenti che siano sensibili alla temperatura. Si sfrutta in questo caso il fatto che alcune proprietà di molti corpi cambiano al variare della temperatura: se T aumenta in generale il volume di un liquido aumenta, la lunghezza di un'asta metallica aumenta, la resistenza elettrica di un filo metallico aumenta.



Elemento
termosensibile



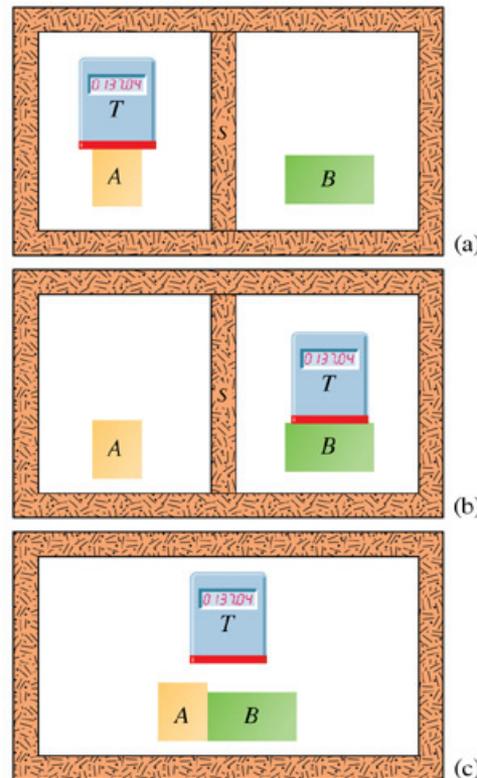
All'interno l'elemento sensibile alla T potrebbe essere una bobina con resistenza elettrica e viene visualizzata la misura della resistenza elettrica. N.B.: per il momento questo strumento *non è un termometro*, è solo sensibile alla T (*termoscopio*).

TEMPERATURA

- La temperatura a questo punto si può definire in base a questa osservazione sperimentale:
Supponiamo di avere un corpo T (il nostro termoscopio) che viene messo in contatto con un secondo corpo A. Se i due corpi hanno inizialmente temperature diverse si osserva che la temperatura di ciascuno cambia nel tempo fino a che non varia più: i due corpi si sono portati ***all'equilibrio termico***.
- Possiamo dire che i due corpi all'equilibrio termico hanno la stessa temperatura? Sì, solo però se è verificata la proprietà transitiva:
In effetti si verifica sperimentalmente che se il corpo T è in equilibrio termico con un terzo corpo B, allora anche B ed A sono in equilibrio termico (ovvero se metto in contatto B ed A stanno in equilibrio e la loro temperatura non varia).
(principio zero della termodinamica)

TEMPERATURA

- Questo ci permette di definire in maniera univoca la temperatura di un corpo, come quel valore che è indicato dal termoscopio quando T e il corpo con cui viene messo a contatto raggiungono l'equil. termico (ovvero quel valore che a un certo punto non varia più).



SCALE DI TEMPERATURA

- *I termoscopi di cui abbiamo parlato non sono ancora dei misuratori di temperatura. Devono essere tarati, ovvero bisogna fissare due grandezze: lo zero e un gradino (la scala, ovvero l'unita` di misura).*
- **Scala Celsius**
Per fissare una scala si prendono a riferimento dei sistemi che siano caratterizzati da una ben definita temperatura.
Si osserva che una miscela di acqua e ghiaccio tra loro in equilibrio termico ha sempre la stessa temperatura se si trova alla stessa pressione. Allora, per convenzione si attribuisce a questa miscela una temperatura uguale allo **0 gradi Celsius (0° C)** alla pressione atmosferica.
In modo analogo si definisce una temperatura di **100° C** come la temperatura di equilibrio acqua-vapore alla pressione atmosferica.
A questo punto divido in cento parti uguali da 0° C a 100° C , definendo così l'unita` di misura (il grado Celsius).

SCALE DI TEMPERATURA

➤ *Scala assoluta o scala Kelvin*

La temperatura definita come zero nella scala Celsius è del tutto arbitraria, e semplicemente frutto di una convenzione, e non ha nessun significato fisico specifico.

Tuttavia esiste una scala termometrica in cui lo zero è uno *zero assoluto* ed ha un significato fisico ben preciso.

Infatti si osserva sperimentalmente che un gas ha un volume che al diminuire della temperatura diminuisce (a pressione costante). Questo vuol dire però che si arriverà ad una temperatura per la quale il gas raggiunge volume nullo e al di sotto di quella il gas avrebbe volume negativo (il che è impossibile).

Pertanto questa temperatura limite rappresenta uno zero assoluto, una temperatura al di sotto della quale non si può andare. *Essa corrisponde nella scala Celsius a -273.15°* . Pertanto si ha che

$$T(\text{Kelvin}) = T(\text{Celsius}) + 273.15$$

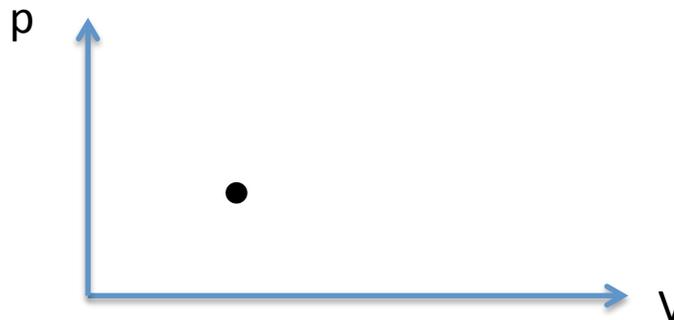
N.B.: 1 Kelvin = 1 grado Celsius.

EQUAZIONE D STATO e GAS IDEALI

- Consideriamo un fluido. Abbiamo detto che le variabili termodinamiche sono: massa, pressione (p), volume (V) e temperatura (T). Supponiamo che la massa non vari. Quindi ci interessano solo p , V e T .
- Un importante fatto sperimentale che si verifica è che ***le tre variabili non sono indipendenti l'una dall'altra ma fissato il valore di due di esse, la terza rimane automaticamente fissata***. Questo vuol dire che esisterà una relazione tra le tre che si può esprimere come:

$F(p,V,T)=0 \rightarrow$ si parla di ***equazione di stato***

- Quindi per descrivere lo stato termodinamico ne bastano due. Spesso si usano p e V , definendo così gli stati del sistema nel piano (p,V), detto piano di Clapeyron.



EQUAZIONE D STATO e GAS IDEALI

- Sperimentalmente per i gas si ha la cosiddetta ***equazione di stato dei gas ideali***

$$pV = nRT$$

dove n è il numero di moli di un gas, R è una costante e T è la temperatura (misurata in Kelvin).

- Alcune osservazioni importanti:

- 1. Numero di moli.** Una mole di un gas è la quantità del gas che contiene un numero di molecole pari al numero di Avogadro

$$N_A = 6.023 \times 10^{23}$$

Quindi se N è il numero totale di molecole del gas, il numero di moli n sarà

$$n = N/N_A$$

EQUAZIONE D STATO e GAS IDEALI

2. ***R*** e` una costante che sperimentalmente si verifica essere la stessa per tutti i gas. Per questo motivo si chiama ***costante universale dei gas (ideali)***.

$$R = 8.3136 \text{ J/(mole K)}$$

3. La equazione $pV=nRT$ si chiama equazione di stato dei gas ***ideali***. **Infatti nessun gas in realta` si comporta *esattamente* come questa equazione. Tuttavia molti gas, compresi quelli piu` comuni come l'atmosfera, la seguono con ottima approssimazione per un ampio intervallo di pressioni e T. Quindi un gas ideale e` un gas che per definizione segue tale equazione.**

Si noti infatti che nella equazione $pV=nRT$ non c'e` nessun riferimento a il tipo di gas specifico che uno sta considerando.

4. **T** in questa equazione $pV=n R T$ e` la temperatura assoluta misurata in Kelvin

EQUAZIONE D STATO e GAS IDEALI

5. Si verifica inoltre che l'eq. di stato dei gas ideali descrive tanto meglio il comportamento di un gas reale tanto più è alta la T e più bassa è la pressione.

N.B.: Ciò alla fine è dovuto al fatto che a livello microscopico un gas ideale è un gas le cui molecole non interagiscono tra loro se non con urti. Vedremo che maggiore è la T e maggiore è l'energia cinetica media delle molecole, per cui maggiore è T e più veloci si muovono in media le molecole e quindi meno tempo hanno di interagire con forze di interazione e quindi più tendono al comportamento di un gas ideale.

➤ **Legge di Dalton:** riguarda una miscela di più gas.
In una miscela di più gas la pressione che ogni gas esercita è quella che si avrebbe se occupasse da solo tutto il volume.

Come a dire che ciascun gas è indipendente dagli altri, e infatti anche questa legge vale rigorosamente solo per i gas ideali.

CALORE

- Abbiamo visto che quando due corpi con T diverse vengono messe a contatto le loro T variano fino a che diventano uguali, fino a quando cioè i due corpi hanno raggiunto l'eq. termico.

Quello che si verifica e` che c'e` stato uno scambio di energia tra i due corpi.

Lo scambio non e` avvenuto sotto forma di lavoro (nessun corpo si e` spostato).

Ma e` avvenuto sotto forma di **calore**.

- ***Quindi definiamo come calore uno scambio di energia tra due corpi (a T diverse). Equivalentemente uno scambio di calore determina variazioni di temperatura in un corpo. Allora***

$$Q = C\Delta T = C(T_f - T_i)$$

dove ΔT e` la variazione di temperatura determinata dallo scambio di calore Q (T_i e` la T iniziale del corpo e T_f e` la temperatura finale (di equilibrio) raggiunta).

La costante di proporzionalita` **C e` detta capacita` termica del corpo**.

CALORE

$$Q = C \Delta T = C(T_f - T_i)$$

Si puo` anche introdurre il **calore specifico**, ovvero la Capacita` per unita` di massa di una data sostanza (la capacita` termica di un kg di quella sostanza)

$$c = C/m \rightarrow Q = c m \Delta T$$

➤ Il calore e` una grandezza termodinamica, non meccanica.

Qual e` la sua **unita` di misura**?

La si determina fissando per definizione il calore specifico dell' acqua uguale a uno:

la **chilocaloria** (kcal) e` la quantita` di calore che bisogna fornire ad un kg di acqua per elevarne la T da 14.5 °C a 15.5 °C sotto la pressione costante di 1 atmosfera.

N.B.: si specifica la p e la T a cui avviene lo scambio perche` la c di tutte le sostanze dipende dalle condizioni termodinamiche a cui si trova un dato sistema.

CALORE

$$Q = C\Delta T = C(T_f - T_i)$$

➤ ***N.B.: il calore Q ha un suo segno algebrico.***

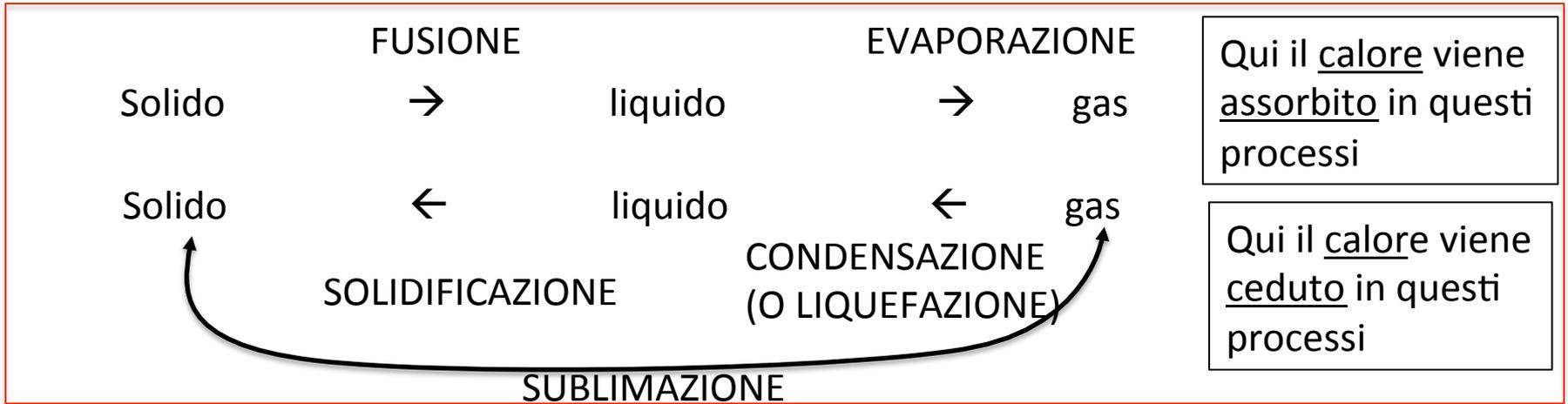
Dalla equazione qui sopra si vede subito che la convenzione è`

se un corpo assorbe calore in modo tale che la sua T aumenta ($T_f > T_i$, $\Delta T > 0$) allora ***$Q > 0$*** (c e C sono sempre > 0).

se un corpo cede calore così` che la sua T diminuisce ($T_f < T_i$, $\Delta T < 0$) allora ***$Q < 0$***

CALORI LATENTI

- Non sempre la T aumenta (diminuisce) se una data sostanza assorbe (cede) calore. Cio` non succede se il calore viene usato non per aumentare (diminuire) la T per far si che la sostanza passi da una fase di aggregazione ad un'altra:

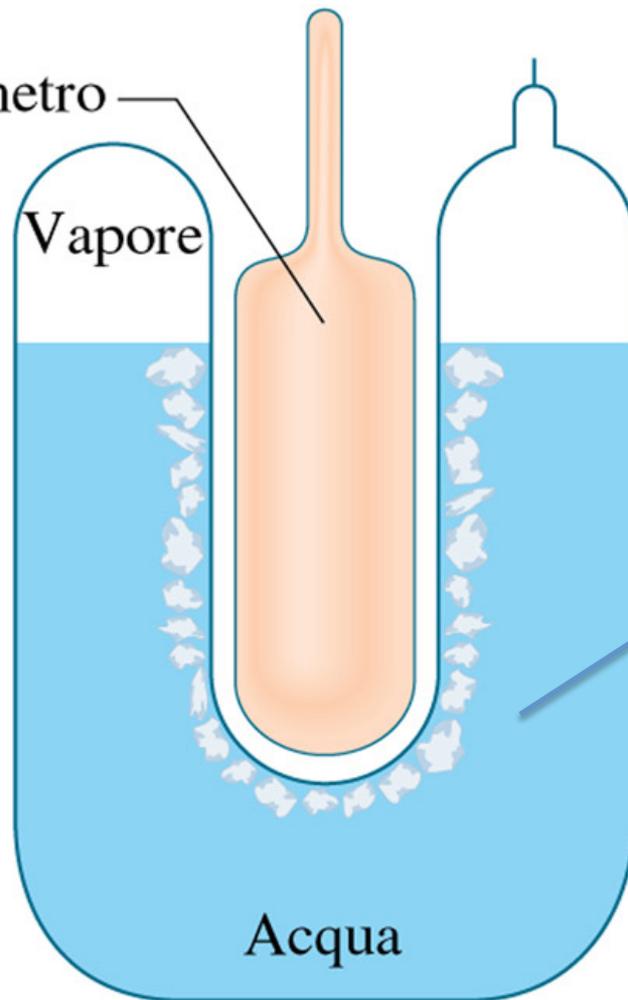


- Si definisce come calore latente L il calore (per unita` di massa) necessario per una data transizione di fase (unita` di misura: kcal/kg).

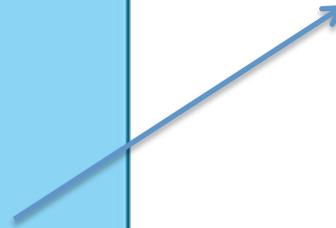
$$Q = m L$$

N.B.: questo Q ha come al solito il suo segno a seconda che venga assorbito ($Q > 0$) o ceduto ($Q < 0$)

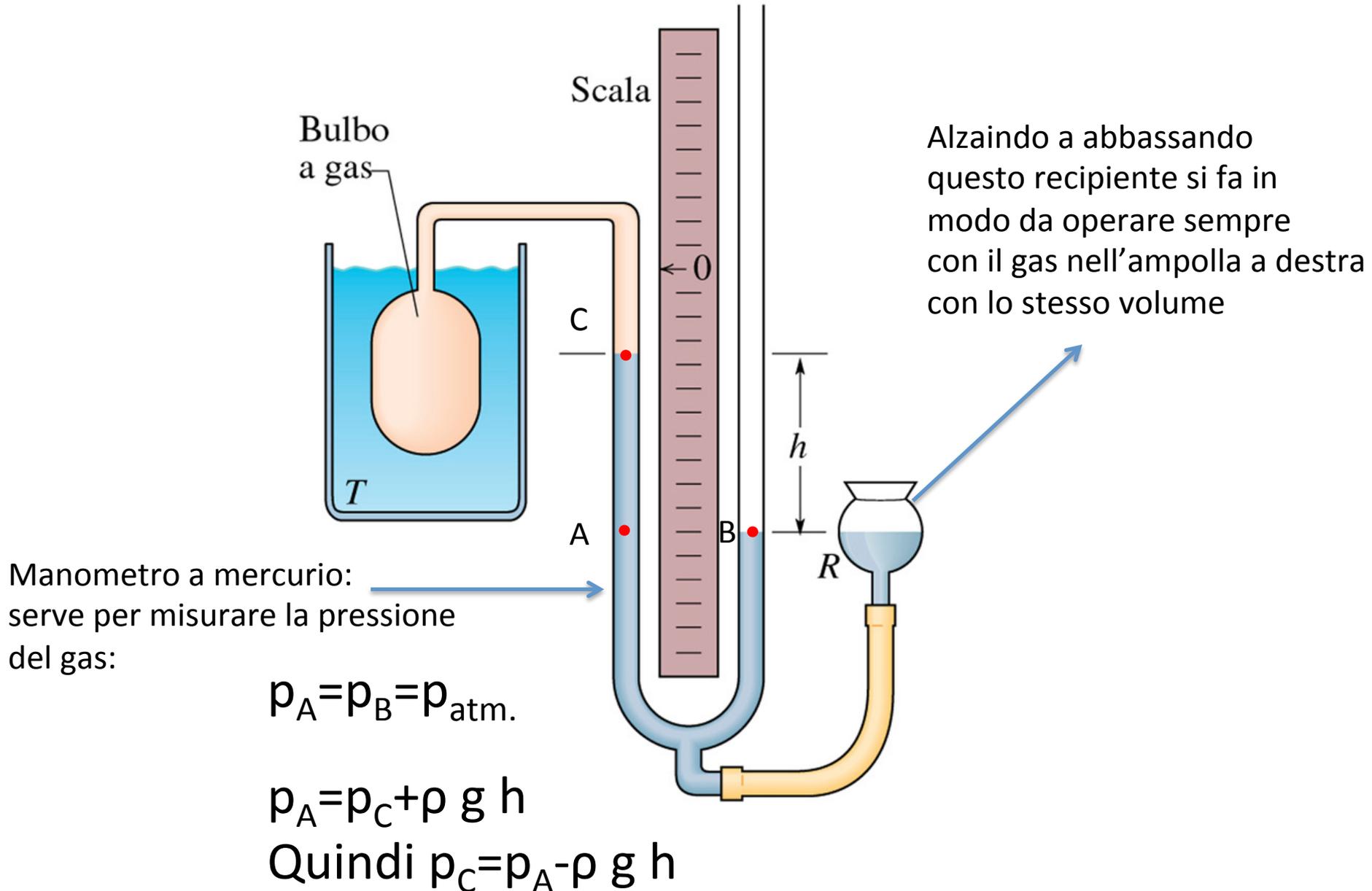
Bulbo
del termometro
a gas



Punto triplo dell'acqua:
miscela di acqua-ghiaccio-
vapore: coesistono in
equilibrio termico solo ad una
determinata T e pressione.
Per convenzione si stabilisce
che tale T sia di 273.16 K.



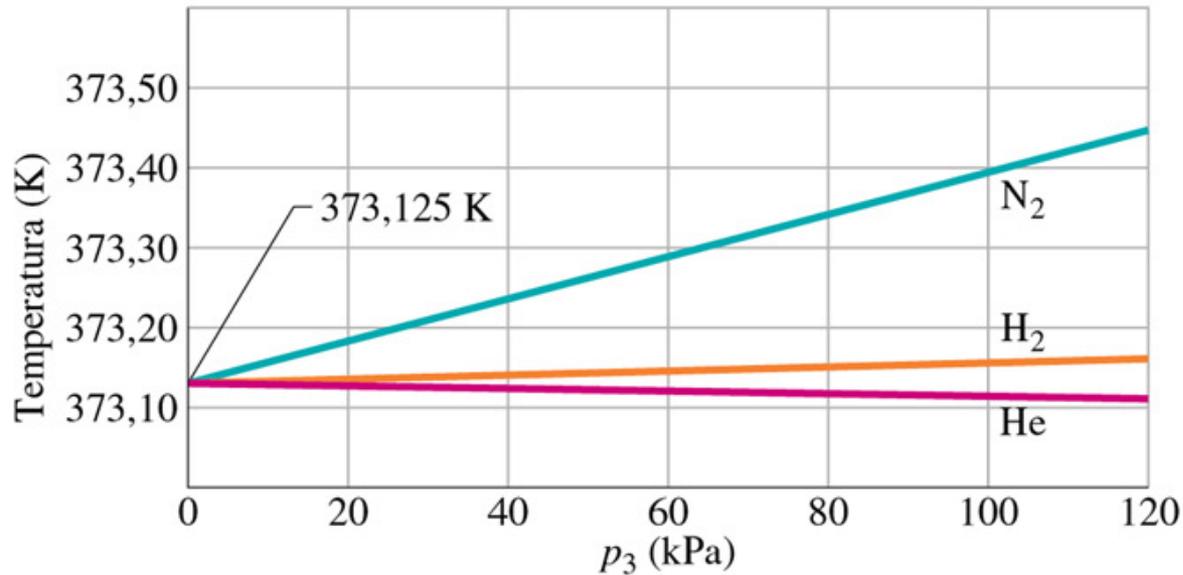
TERMOMETRO A VOLUME COSTANTE (O A GAS IDEALE)



TERMOMETRO A VOLUME COSTANTE (O A GAS IDEALE)

- A questo punto misuro la pressione del gas dopo averlo messo in contatto con una miscela di acqua-ghiaccio-vapor acqueo al punto triplo (chiamiamola p_3).
- Nello stesso modo misuro la pressione del gas (a volume costante) quando messo a contatto con il sistema di cui voglio misurare la T.
- definisco:
$$T = \frac{p}{p_3} 373.16K$$

Ma affinché sia buona questa definizione devo verificare che essa dia la stessa temperatura se uso gas diversi. Così non è! Vedi slide successiva



Pero` si nota che al diminuire della pressione che il gas ha quando messo a contatto del punto triplo (p_3) le differenze tra le misure della T fatta con gas diversi diminuiscono e soprattutto le tre misure fatte con tre gas diversi tendono ad assumere lo stesso valore man mano che p_3 diminuisce:

Il valore che uno estrapola della T per $p_3 \rightarrow 0$ dipende solo dalle proprieta` generali del gas ma non dal particolare gas usato. Si parla allora di **gas ideali**.

$$T = \lim_{p_3 \rightarrow 0} \frac{p}{p_3} 373.16 K$$

N.B.: in pratica sotto una certa T ogni gas liquefa, quindi il termometro a gas ideale puo` misura solo fino a certe T (la piu` bassa e intorno a 1K).