

# Termometri

Operativamente, come misurare la temperatura?

- 1) Scegliere standard di temperatura affidabili (stabili, riproducibili, semplici)
- 2) Fissare a questi standard un valore arbitrario di  $T$
- 3) Introdurre una scala di calibrazione che collega (linearmente) almeno due temperature standard

Per 1) ne esistono tanti in natura! Es. con  $H_2O$ :

- punto fisso del ghiaccio ( $0^\circ C @ 1 \text{ atm}$ ) PFG
- punto fisso del vapor d'acqua ( $100^\circ C @ 1 \text{ atm}$ ) PFV
- punto triplo dell'acqua ( $0.01^\circ C @ 0.6117 \text{ kPa} \approx 0.006117 \text{ atm}$ )

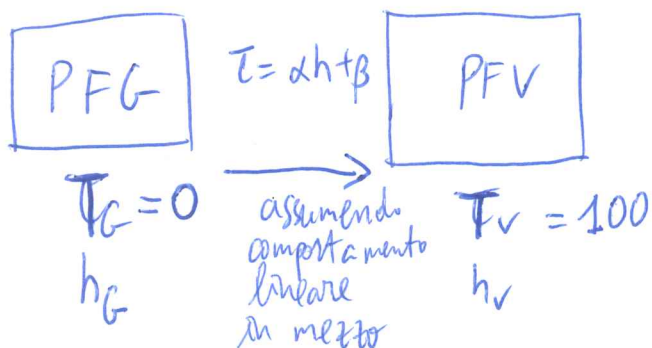
4) costruire uno strumento che all'equilibrio con questi standard esprima una proprietà direttamente collegata alla temperatura, sfruttando il fatto che grandezze macroscopiche per sistemi all'equilibrio termico non sono indipendenti

Termometro: sistema che varia una sua proprietà fisica ("caratteristica termometrica") al variare della temperatura

Ad es. dilatazione termica



alterna colonna:  
Caratteristica termometrica



$$\begin{cases} T_G = \alpha h_G + \beta = 0 \\ T_V = \alpha h_V + \beta = 100 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \alpha = \frac{100}{h_V - h_G} \\ \beta = -\frac{100 h_G}{h_V - h_G} \end{cases}$$

$$\Rightarrow T = 100 \frac{h - h_G}{h_V - h_G}$$

Scala centigrada : Celsius  $0^{\circ}\text{C}$  FFG,  $100^{\circ}\text{C}$  PFV

• Come facciamo a sapere che la dipendenza  $T(h)$  è lineare?

Empiricamente! 1) usando termometri diversi (ma con la

stessa caratteristica termometrica)

2) usando termometri con caratteristiche termometriche diverse

(ovviamente non è una "dimostrazione")

• Termometri a gas: temperatura Kelvin

Caratteristica termometrica: pressione di gas tenuto in recipiente a volume costante

$$P = \alpha T + \beta$$

(come vedremo in seguito  $PV = nRT \rightarrow P \propto \frac{T}{V}$ )

Empiricamente si osserva che:

1) termometri a gas più precisi che a dilatazione

2)  $\beta$  uguale per tutti i termometri a gas,  $\beta \approx -273^{\circ}\text{C}$

3) 1) e 2) tanto più vere quanto più gas è rarefatto \*

~~quanto più "estrema" è la temperatura~~

→ definiamo una nuova temperatura  $\theta$  con lo 0 spostato di un valore costante rispetto alla scala Celsius

Temperatura: punto triplo

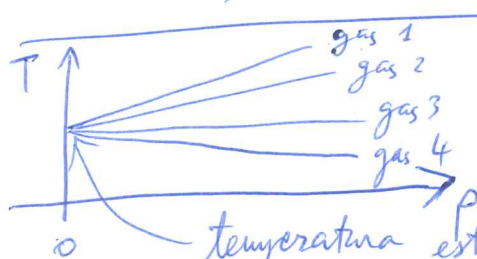
Misuriamo  $P_3$ , stabiliamo

conversione

$$\theta_3 \equiv 273.16 \Rightarrow$$

$$\theta = 273.16 \frac{P}{P_3}$$

\*



temperatura estrapolata di punto fisso di calibrazione

$\theta_3 \equiv 273.16 \text{ K}$  ("Kelvin", non "gradi Kelvin")

$$\rightarrow \theta = 273.16 \frac{P}{P_3} \text{ K}$$

0, più precisamente

$$\theta = 273.16 \text{ K} \times \lim_{P_3 \rightarrow 0} \left( \frac{P}{P_3} \right)$$

Dal punto di vista pratico: prendere gas sempre più rarefatti finché la misura non sia ottenuta alla precisione desiderata

$$(P_3 \sim 1 \text{ atm}, \theta \sim \frac{1}{10} \text{ K})$$

273.16 scelta convenzionale tale che l'ampiezza del grado sulla scala Kelvin è equivalente a quello della scala Celsius

$T_{\text{PFC}} = 273.15 \text{ K}$	$T_{\text{PFV}} = 373.15 \text{ K}$	Zero assoluto
$0^\circ \text{C}$	$100^\circ \text{C}$	$0 \text{ K} \rightarrow -273.15^\circ \text{C}$

Gas rarefatti / gas ideali

~~Maxwell-Boltzmann~~

Empiricamente si nota che:

$$\begin{array}{l} P \propto T \text{ a } V \text{ costante} \\ V \propto T \text{ a } P \text{ costante} \end{array}$$

$\rightarrow$   $P$  (intensiva)  $\propto$   $V$  (estensiva)  $=$  (costante)  $\times$   $T$  (intensiva)

$\rightarrow$  deve essere proporzionale alla quantità di gas: estensiva

Per convenzione diciamo costante  $\propto n = nR$

$$PV = nRT$$

Equazione di stato  
dei gas ideali

Per una data quantità di sostanza, servono 2 coordinate termodinamiche ( $T/V$ ,  $T/P$ ,  $P/V$ ) a descrivere lo stato di equilibrio termodinamico

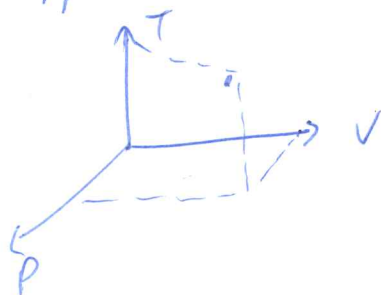
Sperimentalmente determiniamo  $R$  costante universale dei gas

$$R = \lim_{P_3 \rightarrow 0} \frac{(PV/n)_3}{273.16 \text{ K}} = 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

## Stati di equilibrio e trasformazioni termodinamiche

Equilibrio: coordinate termodinamiche non variano nel tempo

Rappresentabile come punto nello spazio delle coordinate termodinamiche



il tempo non entra

Equilibrio termodinamico richiede

- equilibrio meccanico ( $\Delta F = 0$ ,  $\Delta L = 0$ )
- equilibrio termico
- equilibrio chimico

Trasformazioni termodinamiche: alterano stato di equilibrio

Lo scopo della termodinamica è determinare le leggi che regolano le trasformazioni tra stati di equilibrio

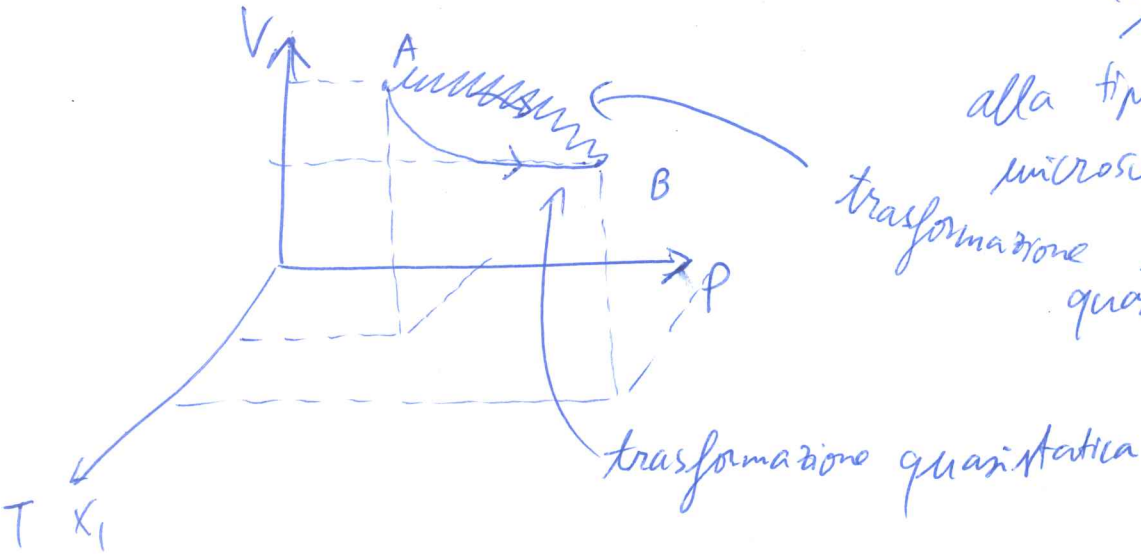
# Trasformazioni tra stati di equilibrio

Anche se stato iniziale e finale sono di equilibrio, non è detto che gli stati intermedi lo siano! (es. corpo esteso scaldato)

Trasformazioni quasistatiche: tramite variazioni lente delle coordinate termodinamiche, in ogni istante il sistema si trova "molto" vicino a uno stato di equilibrio

"lento" rispetto alla tipica scala temporale microscopica del problema.

trasformazione non quasistatica



~~Altre leggi da studiare~~

Le leggi che studieremo, tuttavia, valgono sia per trasformazioni quasistatiche che non!!!

## Primo principio della termodinamica

### Lavoro adiabatico

Sistemi termicamente isolati, senza scambio di calore (pareti adiabatiche)

