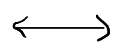


TEMPERATURA

Calore



Temperatura

$$[W = \Delta E_c]$$

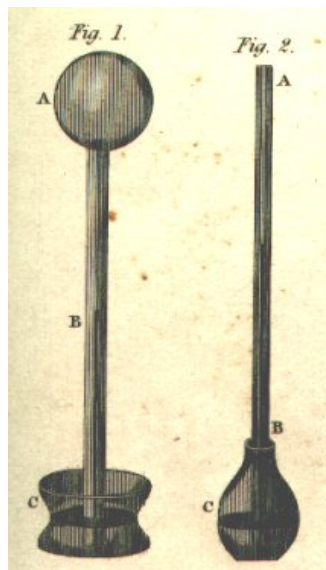


trasferimento
energia

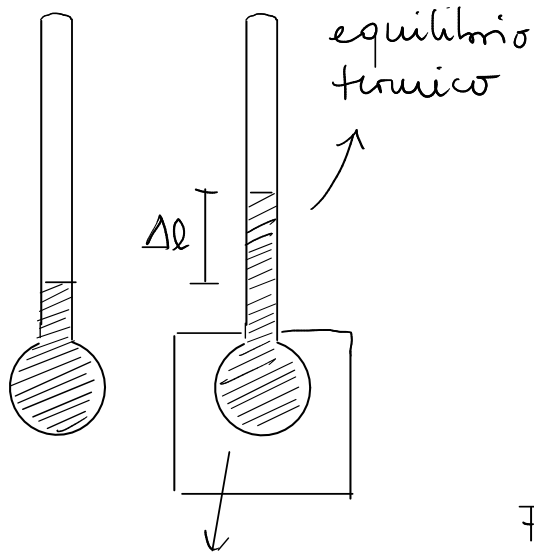


misura dell'energia
cinetica micro

Definizione operativa → misura: termometri



Termoscopio
~1600



contatto
termico



Fahrenheit 1724
termometri

Dilatazione "termica"



corpi a contatto
no lavoro su
scala macro

→ anche proprietà elettriche

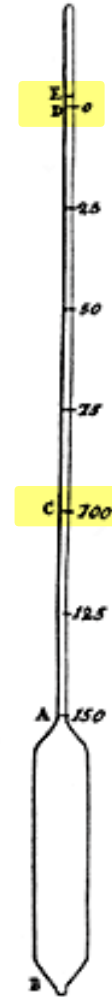
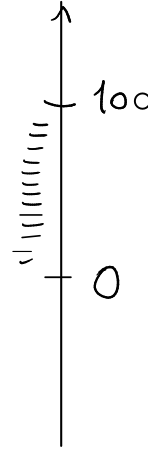
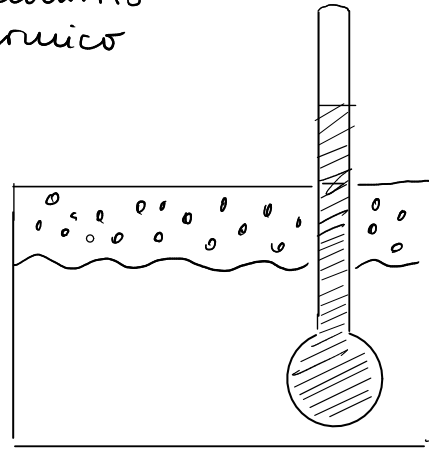
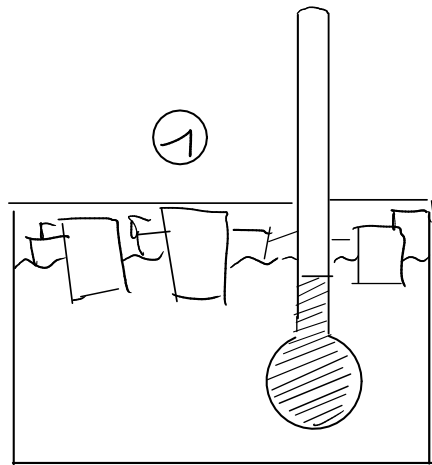
Punti fissi → valori di riferimento per la temperatura

→ transizioni di fase a pressione fissata

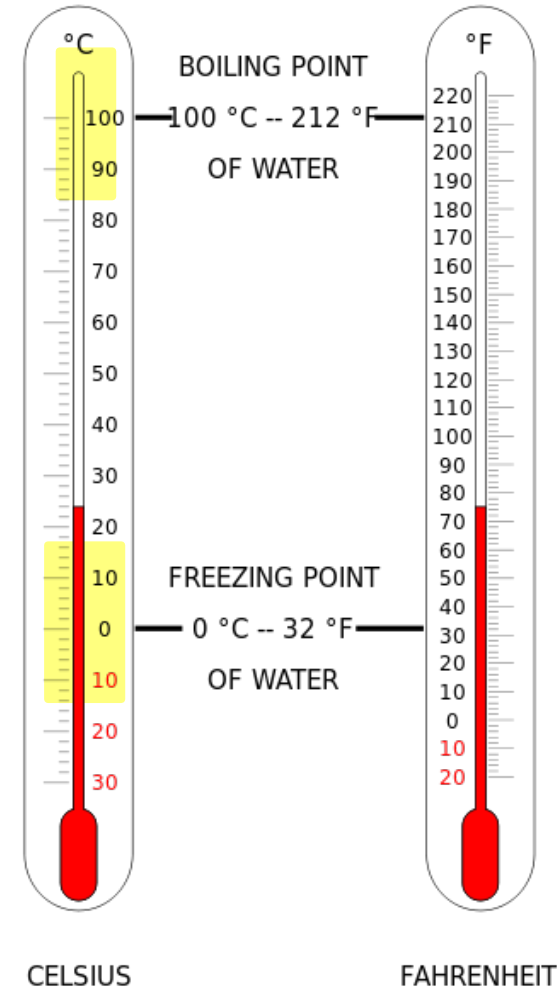
① miscela acqua liquida e ghiaccio a Patru
→ congelamento

② miscela acqua liquida e vapor d'acqua a Patru
→ ebollizione

① e ②
equilibrio
termico



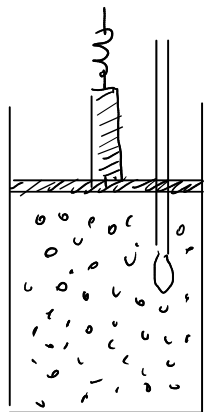
Celsius
1742



→ variazioni di temperatura

Scala assoluta di temperatura

~ 1800 studio dei gas diluiti (bassa densità)



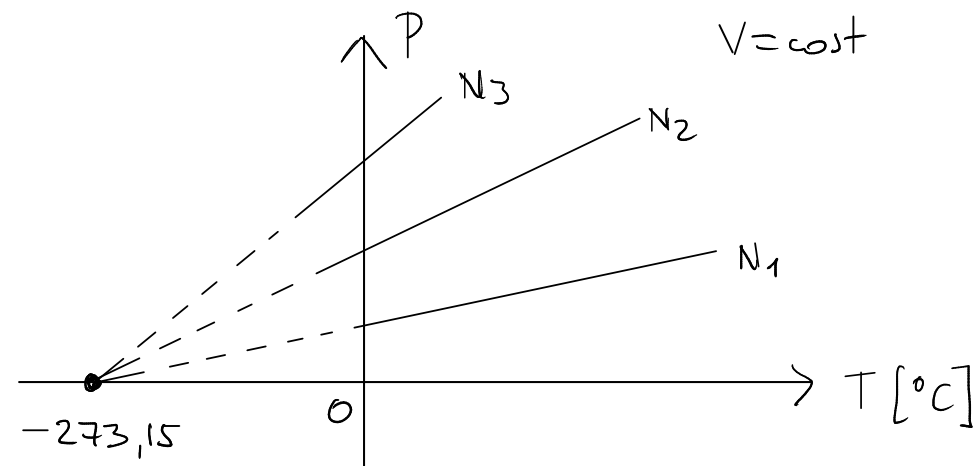
Relazione tra P e T a $V = \text{cost}$

$P \propto T \rightarrow$ Gay-Loussac

Limite inferiore alla temperatura
indipendente dal gas e da N

Scala assoluta o scala kelvin (1848)

$$T = T_c + 273,15 \quad \text{SI: K} \quad [T] = \theta$$



$$\Delta T = 1^\circ\text{C} = 1\text{K}$$

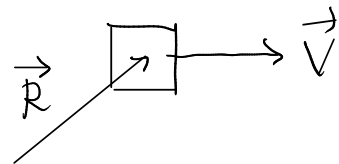
EQUAZIONI DI STATO

Variabili di stato \rightarrow stato del sistema

$$\rightarrow \rho, P, T$$

$$\uparrow$$
$$\rho_N \equiv \frac{N}{V} \quad \rho \equiv \frac{M}{V} \quad M = \sum_{i=1}^N m_i$$

Sistema a riposo: $\vec{V} = \vec{0}$, $\vec{R} = \text{cost}$



Centro di massa: $\vec{R} \equiv \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N m_i \vec{r}_i$

Velocità del centro di massa: $\vec{V} \equiv \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N m_i \vec{v}_i$

Equilibrio termodinamico: variabili di stato ben definite e indipendenti dal tempo

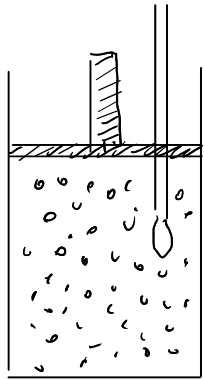
Variabili di stato NON sono indipendenti tra loro in generale.

Corpo composto da una sola specie chimica \rightarrow 2 variabili indipendenti tra ρ, P, T
(intuitive)

$$f(\rho, P, T, \dots) = 0 \quad \text{eq. di stato}$$

$$f(N, V, P, T, \dots) = 0 \quad \leftarrow \text{forma equivalente}$$

1. Leggi empiriche dei gas liquidi



$P = \text{cost} : V \sim T$ legge di Charles
 $V = \text{cost} : P \sim T$ legge di Gay-Loussac
 $T = \text{cost} : PV \sim \text{cost}$ legge di Boyle-Mariotte

$$\alpha \sim N = n N_A$$

↑

$$PV = \alpha T$$

$$PV = nRT$$

equazione di stato dei gas perfetti

↑
costante universale dei gas : $R = 8,314 \text{ J/mol/K}$

$$PV = N \frac{R}{N_A} T = N K_B T$$

↑
costante di Boltzmann : $K_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

ES: $V = \text{cost}$

$$P \sim T \quad P_i \propto T_i$$

$$T_f = x T_i$$

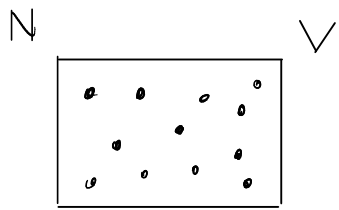
$$\Rightarrow P_f = x P_i$$

$$\frac{P_f}{P_i} = \frac{T_f}{T_i}$$

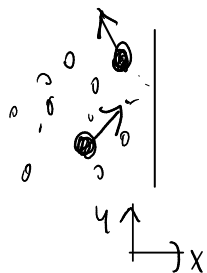
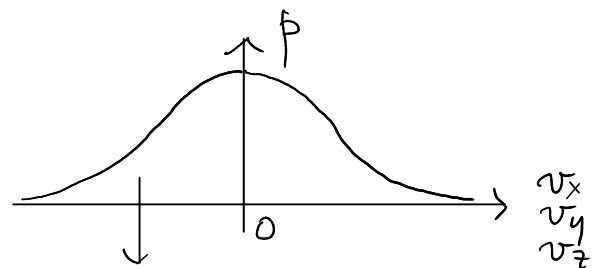
→ Modellizzazione microscopica → spiegazione eq. stato gas perfetti

Modello di gas perfetto

- modello microscopico
- formalismo matematico: teoria cinetica dei gas → statistica



- 1) molecole di gas = masse puntiformi
- 2) omogeneo $p(x) = p(y) = p(z) = \text{cost}$ nel volume V
- 3) isotropo $p(v_x) = p(v_y) = p(v_z)$ simmetrica rispetto all'origine
- 4) interazioni tra molecole trascurabili + urti elastici con le pareti



$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F} \Rightarrow d\vec{p} = \vec{F} dt$$

$$dp_x = F_x dt$$

$$\bar{x} \rightarrow \langle x \rangle$$

$$\leadsto \frac{\langle F_x \rangle}{A} = P = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \frac{1}{2} m \langle |\vec{v}|^2 \rangle$$

$$\langle |\vec{v}|^2 \rangle = \langle v_x^2 + v_y^2 + v_z^2 \rangle = \langle v_x^2 \rangle + \langle v_y^2 \rangle + \langle v_z^2 \rangle = 3 \langle v_x^2 \rangle \neq 0$$

$$\langle v_x \rangle = 0$$

$$\langle v_y \rangle = 0$$

$$\langle v_z \rangle = 0$$

$$\begin{cases} PV = nRT = N k_B T \\ PV = \frac{2}{3} N \langle \frac{1}{2} m |\vec{v}|^2 \rangle \end{cases}$$

$$\rightarrow T \equiv \frac{2}{3 k_B} \langle \frac{1}{2} m |\vec{v}|^2 \rangle$$

↪ agitazione termica

→ interpretazione micro di T: E_c media delle molecole

Es: aria nella stanza, velocità tipica delle molecole?

$$m \langle |\vec{v}|^2 \rangle = 3 k_B T$$



gas perfetto

$$T = 300 \text{ K}$$

$$\sqrt{\langle |\vec{v}|^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3 k_B T}{m}}$$

↑
tipica

$\langle |v_x| \rangle$

$$1 \text{ mole N} \rightarrow 14 \text{ g} \quad M_A = 14 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$1 \text{ mole N}_2 \rightarrow 28 \text{ g} \quad M_A = 28 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$R = 8,314 \text{ J/K/mol}$$

$$m = \frac{M_A}{N_A} = \frac{28 \times 10^{-3}}{6 \times 10^{23}}$$

$$\sqrt{\langle |\vec{v}|^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3 k_B N_A T}{M_A}} = \sqrt{\frac{3 R T}{M_A}} \approx \sqrt{\frac{3 \times 8 \times 300}{28 \times 10^{-3}}} \text{ m/s} \approx 440 \text{ m/s} \rightarrow c \approx 300 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$R = N_A k_B$$