M.Sioli's Thermodynamics

Pocket reference for 1st year course - BSc Physics, Unibo

2023

Contents

1 Fluidostatica e fluidodinamica

Sforzo di Taglio $\vec{T} = \frac{\mathrm{d}\vec{F}_t}{\mathrm{d}S}$

Equazione della statica (1D) $\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}z} = -\rho(z)g$

Equazione generalizzata della statica $\nabla p = \rho\vec{H} = -\rho\nabla\Phi$ ove $\vec{H}$ indica forza di volume (f. che agisce tramite il v. del corpo)

Legge di Stevino $p = p_0 + \rho g h$

Tensione superficiale $\tau = \frac{\mathrm{d}F}{\mathrm{d}l} = \frac{\mathrm{d}L}{\mathrm{d}S}$ (alternativamente indicata con γ)

Equazione di continuità $\rho A v = cost$

Resistenza del mezzo (per corpo sferico) $F = 6\pi R\eta v$ a **piccole velocità**, $F = \frac{1}{2}\rho v^2 \cdot S \cdot C$ a **grandi v.**

2 Sistemi termodinamici

Regola delle Fasi di Gibbs $\nu = C + 2 - F$ ove ν sono i d.o.f. termodinamici (var. intensive indipendenti), C le componenti e F le fasi

Scala Celsius $\theta(x) = 100\frac{x - x_0}{x_{100} - x_0}\mathrm{C}$

Coefficiente di dilatazione termica lineare $\alpha_L = \frac{1}{l}(\frac{\partial l}{\partial T})_p$ indicato anche con α (per un filo è a τ, tensione ai capi costante)
$\Delta l \approx l \cdot (1 + \alpha_L \Delta T)$

Coefficiente di dilatazione termica volumetrico $\alpha = \frac{1}{V}(\frac{\partial V}{\partial T})_p$ indicato anche con β
$\Delta V \approx V \cdot (1 + \alpha\Delta T)$
Per $\Delta T \to 0$ $\beta \approx 3\alpha_l$

Coefficiente di comprimibilità isoterma $\frac{1}{k} = -\frac{1}{V}(\frac{\partial V}{\partial p})_T$

Potenziale di Lennard-Jones $U(r) = \varepsilon \left[(\frac{r_{min}}{r})^{12} - 2(\frac{r_min}{r})^6 \right]$

Termometro a GP $\theta(p) = 273.16 \frac{p}{p_3}$ ove p_3 = punto triplo

LEGGI DEI GAS PERFETTI
I Legge di Gay-Lussac a p cost $V = V_0 \beta\theta$ $(V \propto \theta)$
II Legge di Gay-Lussac a V cost $p = p_0 \beta\theta$ $(p \propto \theta)$
Legge di Boyle a n, θ cost $V = \frac{cost}{p}$ $(V \propto \frac{1}{p})$
Legge di Avogadro a p, θ cost $V = cost' \cdot n$ $(V \propto n)$
Equazione di stato dei GP $\boxed{pV = nR\theta}$

Dilatazione volumica e comprimibilità $\alpha = \frac{1}{\theta}$ — $k = p$

Dipendenza pressione dalla quota (θ cost) $p(z) = p_0\, e^{-z/h_0}$ con $h_0 = \frac{R\theta}{g\mathrm{M}}$ (massa molecolare media)

Sviluppo del viriale $z = \frac{pV}{nR\theta}$ fattore di compressione

$$z(p) \approx 1 + Ap + Bp^2 + Cp^3 + ...$$

Equazione di stato di Van der Waals $\boxed{(p + a\frac{n^2}{V^2})(V - bn) = nR\theta}$

oppure $(p + \frac{a}{\mathrm{v}^2})(\mathrm{v} - b) = R\theta$ con volume molare v

Pressione per GR $p(\theta, V) = \frac{nR\theta}{V - bn} - \frac{an^2}{V^2} = \frac{R\theta}{\mathrm{v} - b} - \frac{a}{\mathrm{v}^2} = p(\theta, \mathrm{v})$

Temperatura e volume molare critici (flesso orizzontale isoterma piano $p\mathrm{v}$) con coeff. compressione

$$\mathrm{v}_C = 3b \quad \theta_C = \frac{8a}{27Rb} \quad z_C = \frac{p_C \mathrm{v}_C}{R\theta_C} = \frac{3}{8} = 0.375$$

Vapore saturo $\frac{n_L}{n_G} = \frac{\mathrm{v}_G - \mathrm{v}}{\mathrm{v} - \mathrm{v}_L}$

3 Teoria Cinetica

Pressione $p = \frac{1}{3}(p_x + p_y + p_z) = \frac{m}{3V}\sum_{i=1}^{N}(v_{ix}^2 + v_{iy}^2 + v_{iz}^2) = \frac{m}{3V}\sum_{i=1}^{N} v_i^2$

Energia cinetica media $\boxed{\langle\varepsilon\rangle = \frac{3}{2}k_B\theta}$

Teorema di equipartizione dell'energia definizione Kelvin $\theta = \frac{2\langle\varepsilon\rangle}{k_B\nu}$ con $\nu = n\, d.o.f.$ e cost. di Boltzmann definita come valore esatto

Legge di Dalton (pressioni parziali) $(p_1 + p_2)V = (n_1 + n_2)R\theta$ ove p_1, p_2 sono pressioni esercitate in assenza dell'altro gas

Gas sulla bilancia $|\Delta v_{iy}| = \frac{gL}{|\vec{v}_{iy}|}$ da cui $\Delta p = \frac{Mg}{S}$

Distribuzione di Boltzmann (PDF) $\boxed{\rho(v; m, \theta) = \frac{4}{\sqrt{\pi}}(\frac{m}{2k_B\theta})^{\frac{3}{2}} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2k_B\theta}}}$

Moda $\frac{\mathsf{d}\rho}{\mathsf{d}v} = 0 \rightarrow \sqrt{\frac{2R\theta}{M}} = \sqrt{\frac{2k_B\theta}{m}}$

Velocità media $\langle v \rangle = \int_0^{+\infty} v\,\rho(v)\mathsf{d}v = \sqrt{\frac{8R\theta}{\pi M}} = \sqrt{\frac{8k_B\theta}{\pi m}}$

Velocità quadratica media $\langle v^2 \rangle = \int_0^{+\infty} v^2\,\rho(v)\mathsf{d}v = \sqrt{\frac{3R\theta}{M}} = \sqrt{\frac{3k_B\theta}{m}}$

Selettore di velocità $\Delta l(v) = \frac{2R^2\omega}{v}$

Atmosfere planetarie raggio limite (posta $v_f = \sqrt{\langle v^2 \rangle}$) $r = \sqrt{\frac{9R\theta}{8G\pi M\rho_{pianeta}}}$ a θ, ρ unif

Libero cammino medio - Mean free path $\lambda = \frac{k_B\theta}{\sigma p\sqrt{2}}$ con σ cross section particelle

4 Primo principio

5 Costanti fisiche e proprietà termodinamiche

5.1 Costanti

Costante di Boltzmann $k_B \equiv \frac{R}{N_A} \approx 1.380649 \times 10^{23}\mathrm{J/K}$