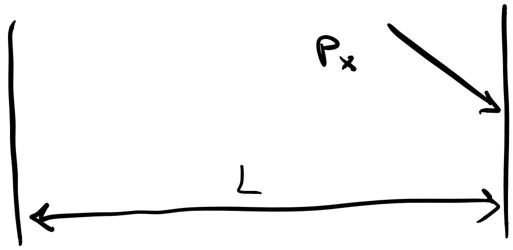


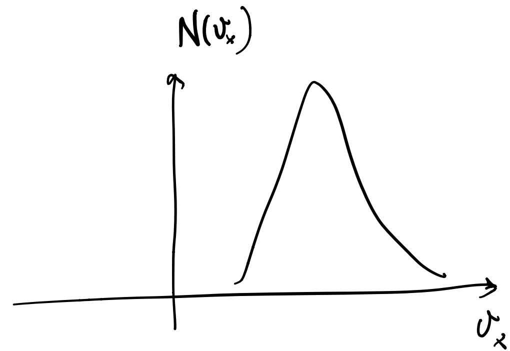
$p_x = m \cdot v_x$ $\qquad \dfrac{p_{in}^2}{2m} = \dfrac{p_{out}^2}{2m}$ $\qquad p_{out} = -mv_x$

$$\Delta p = 2mv_x$$

$$\Delta t = \frac{L}{v_x} \Rightarrow 2\Delta t = \frac{2L}{v_x}$$

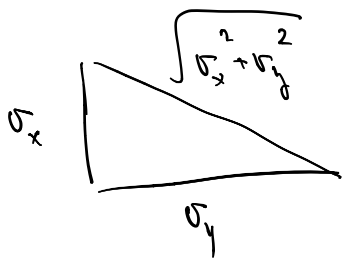
$$F_{parete} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{2mv_x}{2L} v_x = \frac{mv_x^2}{L}$$

$N_{particelle}$ $\qquad v_{x,1}, v_{x,2}, v_{x,3}$



$\langle v_x \rangle \qquad \langle v_x^2 \rangle \qquad \langle v_x^3 \rangle$

$$\langle F \rangle = \frac{m \langle v_x^2 \rangle}{L} N$$



$v_x^2 + v_y^2 + v_z^2 = v^2 \simeq 3 v_x^2$ se $x, y,$ e z sono "uguali"

cioè se $v_x \simeq v_y = v_z$

$$\frac{F}{L^2} = P = \frac{m\langle v^2\rangle}{3L^3} N$$

$$P \overbrace{V}^{L^3} = \overbrace{E_{kin}}^{\frac{mv^2}{2}} \frac{2}{3} N$$

$\uparrow$

nRT_k

$$\langle E_{kin} \rangle = \frac{3}{2} R T_k \frac{n}{N}$$

$$= \frac{3}{2} k T_k$$

$\uparrow$

Boltzmann $10^{-4}\,eV/°K$

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2}kT \qquad \sqrt{\langle v^2\rangle} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

$$\left.\begin{array}{l} v \simeq 10^4\ cm/s \\ \rho = 10^{19}/cm^3 \end{array}\right\} \nu \sim 1\ GHz$$

- si cominciano a fare esperimenti in cui si "espone" la faccia delle leggi fisiche
  si ingegnano situazioni che possano mettere in risalto le situazioni interessanti

- la TEMPERATURA È una manifestazione del movimento delle molecole d'aria

- È veramente necessario conoscere cosa fa ciascuna molecola?
  NO! È stato sufficiente sapere cosa fa in media
  Spesso la conoscenza delle proprietà medie è più che sufficiente per affrontare un problema

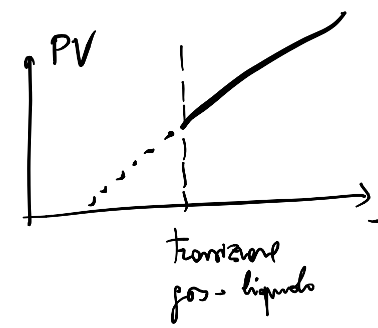
- PASSAGGIO DA UNA TEORIA microscopica ad una TEORIA macroscopica

Questo passaggio è una semplificazione ed è una salvezza.

Conoscendo la teoria microscopica non si riesce a risolvere un problema, ma se ne possono capire le proprietà più intime e fondamentali

Conoscendo la teoria macroscopica si può correre il rischio di estrapolare fuori dal suo dominio di validità

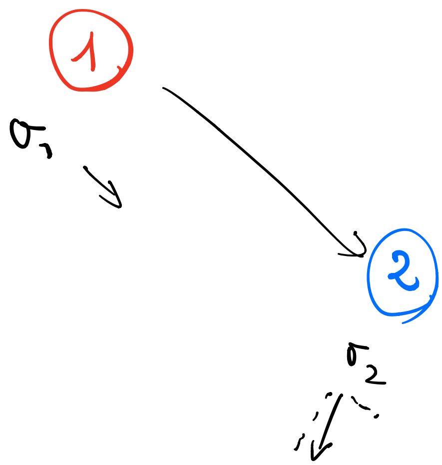
P. es.



Perrin, Boltzmann e l'ipotesi atomica

Moto browniano

un corpo riscolobo l'altro, ma non il viceversa.



Nel sistema di riferimento di quiete di "2"

$$m_1 = m_2$$

$$v \cong 10^{4} \frac{cm}{s} = 10^{3} \frac{10\,cm}{10^{9}\,ns} = 10^{-6} c \qquad \beta = 10^{-6}$$

$$v_2 = v_1 (\sin\theta_2 , \cos\theta_2) \qquad V_1^* = 0$$

$$v_1 = v_2 (\sin\theta_1 , \cos\theta_2) \qquad v_2^* = (v_2 \sin\theta_2 - v_1 \sin\theta_1 , \; v_2 \cos\theta_2 - v_2 \cos\theta_2)$$

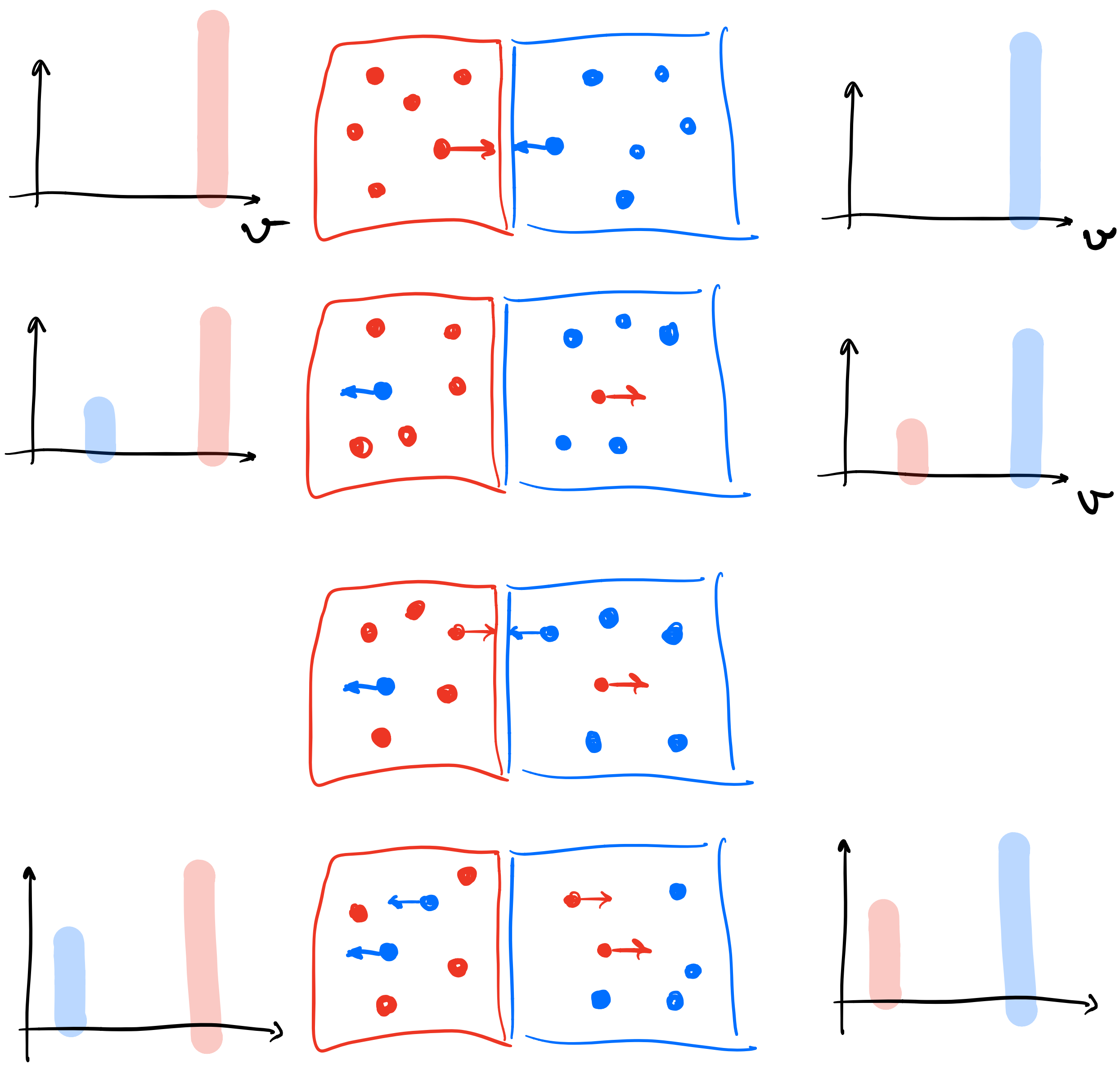
$$|v_2|^2 = (v_2 \sin\theta_2 - v_1 \sin\theta_1)^2 + (v_2 \cos\theta_2 - v_2 \cos\theta_2)^2$$

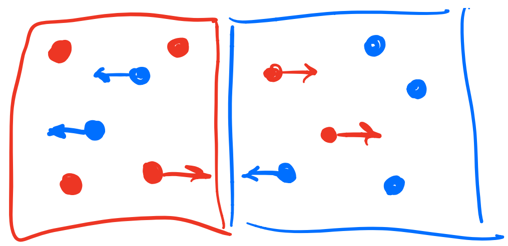
$$v_2^{*\prime} = 0 \qquad v_1^{*\prime} = |v_2| \, \hat{\theta}_2^*$$

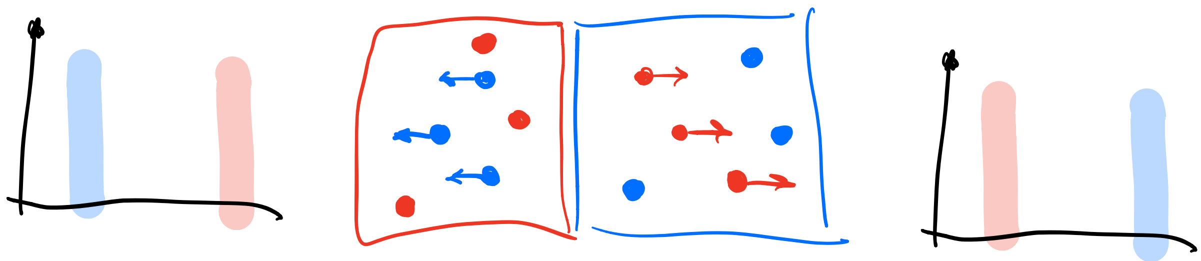
$k_1 = 0 \qquad k_2 = \frac{mv^2}{2}$

$k_1' = \frac{mv^2}{2} \qquad k_2 = 0$

$\langle v^2 \rangle$ non cambia

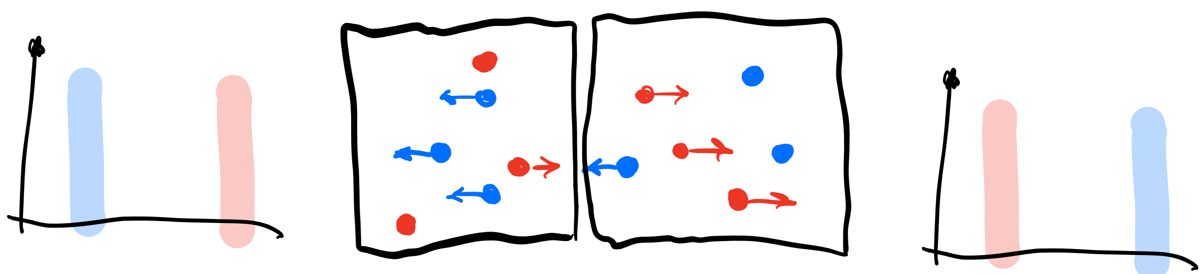


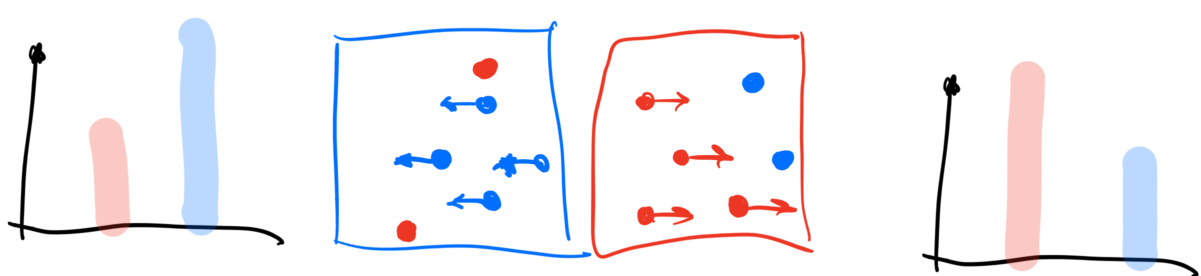


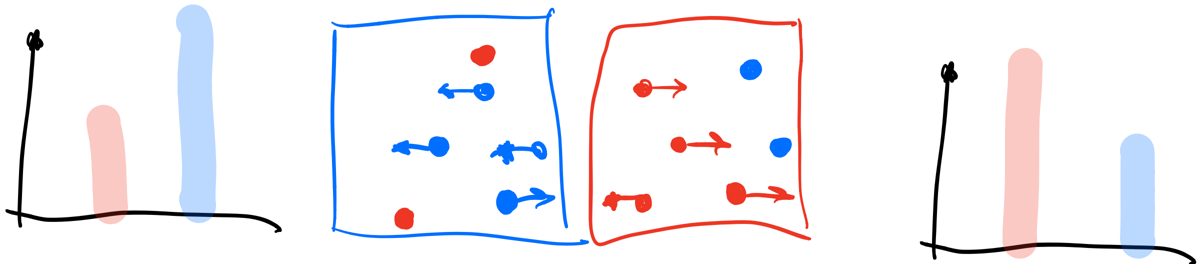


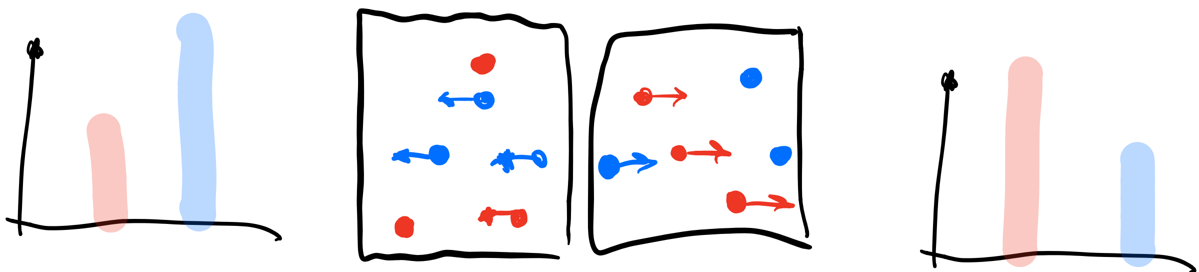
e poi ?

si continua









qualunque interazione che porta più palline rosse da un lato produce una situazione in cui è più facile che quelle palline rosse vadano dall'altra parte.

$$N_b(t) \longrightarrow N_b(t+\Delta t) = N_b - n_b(t) + n_r(t)$$

$$N_r(t) \longrightarrow N_r(t+\Delta t) = N_r(t) - n_r(t) + n_b(t)$$

collisioni sono $n_z = n_b$, ma è anche possibile un semplice attraversamento, da cui $n_b \neq 0$ $n_z = 0$

$$n_b = (\tau_b + I) \qquad (n_b - n_z) = (\tau_b - \tau_z)$$

$$n_z = (\tau_z + I) \qquad (n_z - n_b) = (\tau_z - \tau_b)$$

$$N_b(t+\Delta t) - N_z(t+\Delta t) = N_b(t) - N_z(t) - 2(\tau_b - \tau_z)$$

$$\boxed{\begin{aligned} \tau_b &= p N_b \\ \tau_z &= p N_z \end{aligned}}$$

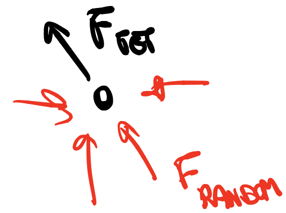
$$N_b - N_z(t+\Delta t) = N_b - N_z(t) - 2p(N_b - N_z)$$

$$\Delta_{bz}(t+\Delta t) = \Delta_{bz}(t) - 2p\,\Delta_{bz}(t)$$

$$\frac{\delta}{\delta t}\Delta_{bz}(t) = -2p\,\Delta_{bz}(t)$$

situazioni vicine all'equilibrio, perché lo stato "b" e lo stato "z" non sono molto diversi si possono inquadrare in questa descrizione. La maggior parte delle situazioni adesso si svolge così, però non è un fatto universale.

$$m\overbrace{\frac{d}{dt}\left(\frac{dx}{dt}\right)}^{a} = F_{TOT} = F_{RANDOM} - \delta\frac{dx}{dt}$$



$$x F_{RANDOM} = x\delta\frac{dx}{dt} + x m\frac{d}{dt}\left(\frac{dx}{dt}\right)$$

$$\frac{d^2x^2}{d^2t} = \frac{d}{dt}\left(\frac{dx^2}{dt}\right) = \frac{d}{dt}\left(2x\frac{dx}{dt}\right)$$

$$\left\{\frac{d^2x^2}{d^2t} = 2\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + 2x\frac{d^2x}{d^2t}\right.$$

$$x F_{RAND} = \frac{\delta}{2}\frac{d}{dt}x^2 + \frac{m}{2}\frac{d^2}{dt^2}x^2 - \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 m$$

$$\langle x F_{RANDOM}\rangle = 0$$

$$m\left\langle\left(\frac{dx}{dt}\right)^2\right\rangle = m\langle v^2\rangle = 2\langle E_{kin}\rangle = 2\gamma T$$

$$\left\langle\frac{dx^2}{dt}\right\rangle =: \alpha$$ il nostro parametro d'interesse

$$\frac{\delta}{2}\alpha + m\frac{d}{dt}\alpha = 2\gamma T$$

$$\dot{\alpha} = \frac{2}{m}\gamma T - \frac{\alpha}{m}\cdot\frac{\delta}{2} =: \beta$$

$$\dot{\beta} = -\frac{\dot{\alpha}}{m}\cdot\frac{\delta}{2} = -\beta\,\delta/2m \qquad \beta = e^{-\delta/2m\cdot t}$$

$$\alpha \simeq 4\gamma T\delta \qquad \left\langle \int_0^\tau \alpha \right\rangle = \left\langle \int_0^\tau \frac{d}{dt}x^2 \right\rangle$$

$$= \alpha\cdot\tau = \langle x^2\rangle$$

$$\langle x^2 \rangle = \frac{4\gamma T\tau}{\delta}$$

$$\uparrow$$

$$\pi R\cdot\eta$$