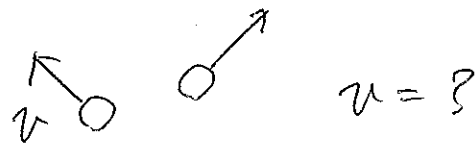
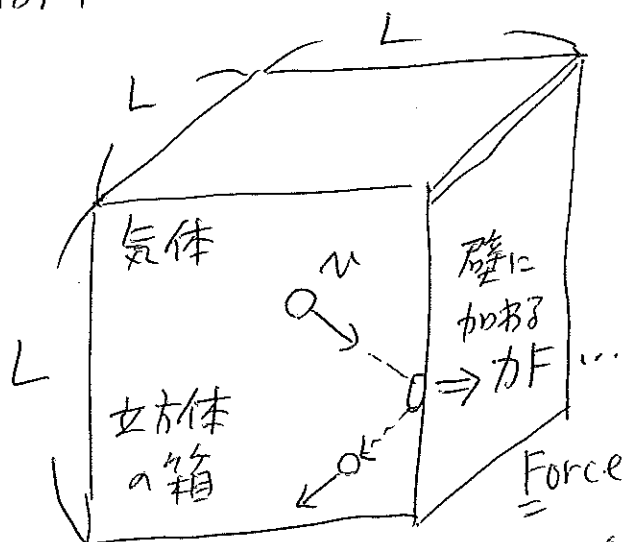


- ・ 運動量の移動 ~ 粘性 — 流体力学
- ・ 熱 (エネルギー) の移動 ~ 伝熱
- ・ 物質 (分子) の移動 ~ 拡散

分子のちり雑な運動
速度 velocity



簡単な例で考える! 気体分子運動論



理想気体の法則

$$PV = nRT$$

↑ これを使う!

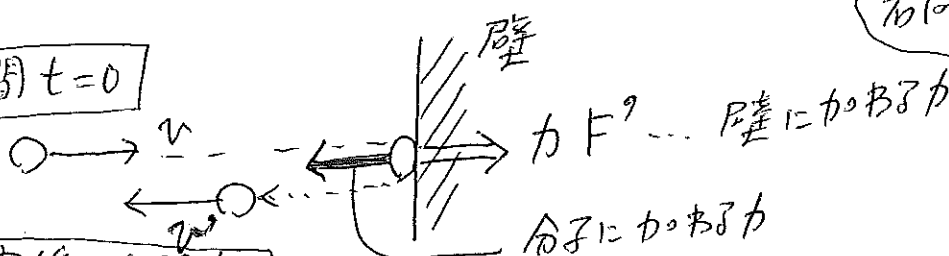
$$V = L^3$$

Volume 体積

圧力 P
Pressure
= Force

簡単な例で! 仮に壁に垂直に1個の分子が衝突

時間 $t=0$



衝突後、時間 t_a

右向きを正とする

$$v > 0$$

$$v' < 0$$

力 F と v の関係?

$$F = m \cdot a$$

mass 質量
acceleration 加速度

$$a = \frac{dv}{dt}$$

↑
 v の t に対する微分

$$F = m \cdot \frac{dv}{dt}$$

↓ 時間 t を積分

$$\int_0^{t_a} F dt = \int_0^{t_a} m \frac{dv}{dt} dt = \int_v^{v'} m dv$$

力積
impulse

$$= m v' - m v$$

運動量 momentum

壁と分子の温度が同じで、衝突により分子が壁に熱エネルギーが与えられない (すなわち分子がエネルギーを失わない) とすると、

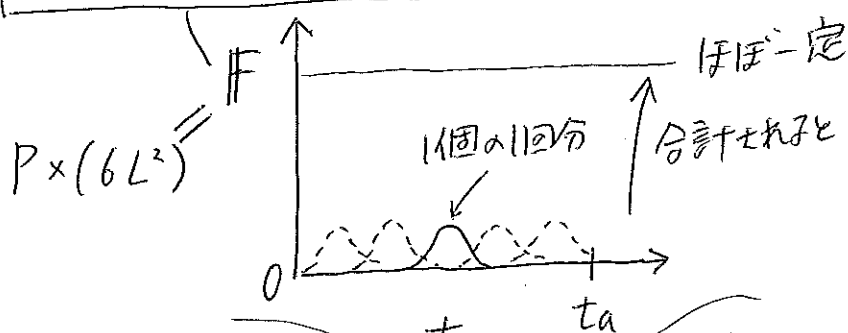
$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m v'^2 \Rightarrow v = -v'$$

$$F = -F'$$

$t=0 \sim t_a$ の間に 壁にかかった力積は $\int_0^{t_a} F' dt = m v - m v' = 2 m v$

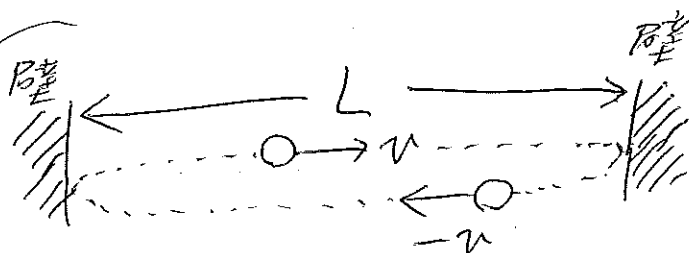
分子1個の1回の衝突において

壁を外向きに押す力 ← 全分子による



1個の気体分子は、

時間 $\frac{L}{v}$ の間に 1回衝突



N 個の分子、 $\frac{L}{v}$ だけの時間には、

$$\int_0^{\frac{L}{v}} F dt = \int_0^{\frac{L}{v}} P \cdot 6L^2 dt = 2 m v \cdot N$$

$$= 6 P L^2 \cdot \frac{L}{v} = 6 P L^3 / v$$

R : 気体定数
 $= 8.314 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$

変形して ←

$$N \cdot \frac{1}{3} m v^2 = P L^3 = P V = n R T$$

v はそれぞれの気体分子で異なるので、上式の v^2 の代わりに、

その平均値 $\langle v^2 \rangle$ を用いるべき。

↑ ↑

x の平均値を $\langle x \rangle$ で表す。

$$\langle v^2 \rangle = \frac{3 n R T}{m N}$$

$$N = n \cdot N_A$$

N_A : アボガドロ定数 $= 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Avogadro constant

$$\langle v^2 \rangle = \frac{3RT}{N_A m} = \frac{3k_B T}{m}$$

$\frac{R}{N_A} = k_B = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
ボルツマン定数
Boltzmann constant

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

根平均二乗速度

$$\text{cf) } \frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle = \frac{3}{2} k_B T = \frac{1}{2} k_B T \times 3$$

↑
x, y, z 方向
3 方向

速度の大きさ (絶対値) の平均値

$$\langle |v| \rangle = \sqrt{\frac{8k_B T}{\pi m}}$$

T : absolute Temperature
絶対温度