1. 導入

1.1 完全気体　= 理想気体

Boyle の法則 $pV = \text{const.}$, Charles の法則 $V = \text{const.} \times (\theta + 273.15)$

p: 圧力, V: 体積, θ: 摂氏温度

[完全気体の状態方程式]

$$pV = nRT \tag{1.1}$$

[絶対温度] T

完全気体温度目盛 (単位 K) = 熱力学温度目盛 [後述]

$$T / \mathrm{K} = \theta / {}^\circ\mathrm{C} + 273.15 \tag{1.2}$$

[圧力] p

単位面積あたりの力 (単位 Pa)　1 Pa = 1 N m^{-2} (1 N = 1 kg m s^{-2})

慣用単位

bar (バール) : 1 bar ≡ 10^5 Pa

atm (気圧) : 1 atm ≡ 101325 Pa

[気体定数] R

= 8.314472 J K^{-1} mol^{-1}

1 J = 1 N m = 1 Pa m^3 (圧力×体積)

[物質量] n　= モル数

単位 mol,　1 mol ≡ 12g の ^{12}C 中の炭素原子数と同じ数の物質量

アボガドロ定数 $N_A = 6.022142 \times 10^{23}$ mol^{-1}

[標準状態]

標準環境状態 (SATP): 298.15 K (25°C), 1 bar

(旧)標準状態 (STP): 0°C, 1 atm

演習 1.1

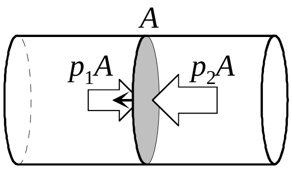
a) R = 8.314472 J K^{-1} mol^{-1} から、単位 atm K^{-1} dm^3 mol^{-1} に換算した気体定数を求めよ。

b) 標準環境状態 (SATP) における 1 mol の完全気体の体積を求めよ。

1.2 平衡状態

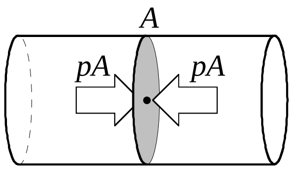
[圧平衡]

・力学的平衡状態　　非平衡:



$p_1 < p_2$

平衡:

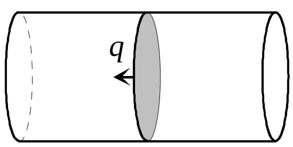


$p_1 = p_2 = p$

p_1, p_2: 圧力,　A: 断面積

[熱平衡]

・温度が等しい → 「温度」の根拠



$T_1 < T_2$

q: 熱

[状態量]
平衡状態を記述する変数
ex.) 温度, 圧力

[示量性]
物質量に依存 (比例) する性質
ex.) 質量, 体積, エネルギー

[示強性]
物質量によらない性質
ex.) 温度, 圧力, 密度

[モル量] (示強性)
示量性の性質 X を物質量 n (mol) で割ったもの: $X_\mathrm{m} = X / n$
ex.) モル質量, モル熱容量

1.3 エネルギー

1.3.1 エネルギーの形態

仕事

力 F で距離 l 移動する 時の仕事

$w = Fl$ 　　単位: N × m = J

圧力 p で体積 ΔV 変化する 〃

$w = p\Delta V$ 　　単位: $\mathrm{Pa} \times \mathrm{m}^3 = \mathrm{N\ m}^{-2} \times \mathrm{m}^3 = \mathrm{N\ m} = \mathrm{J}$

運動エネルギー

速度 v で移動している質量 m の物体の運動エネルギー

$E_\mathrm{K} = \frac{1}{2} m v^2$ 　　単位: $\mathrm{kg} \times (\mathrm{ms}^{-1})^2 = \mathrm{kg\ ms}^{-2} \times \mathrm{m} = \mathrm{N\ m} = \mathrm{J}$

位置(ポテンシャル)エネルギー

地球重力場 (g: 自由落下の標準加速度 = 9.80665 ms^{-2}) の高さ h, 質量 m の物体の位置エネルギー

$E_\mathrm{G} = mgh$ 　　単位: $\mathrm{kg} \times \mathrm{ms}^{-2} \times \mathrm{m} = \mathrm{N\ m} = \mathrm{J}$

熱

熱容量 C の物体の温度を ΔT 上げるのに必要な熱

$q = C\Delta T$ 　　単位: $\mathrm{J\ K}^{-1} \times \mathrm{K} = \mathrm{J}$

演習 1.2

パチンコ玉 (5 g の鉄球) の熱容量は 2.24 $\mathrm{J\ K}^{-1}$ である。
a) パチンコ玉1個を手で暖める (20°C → 35°C とせよ) のに必要なエネルギーはいくらか？
b) 上の *a*) と同じエネルギーを地上の位置エネルギーとして持つ、パチンコ玉1個の高さは？
c) 上の *a*) と同じエネルギーを運動エネルギーとして持つ、パチンコ玉1個の速度は？

1.3.2 均分原理 (エネルギー等分配則)　← 古典統計力学

「エネルギーはすべての自由度に等分配され、1自由度あたりのエネルギーは、$\frac{1}{2}kT$ である。」

自由度: 運動エネルギーまたはポテンシャルエネルギーで、座標または運動量の2次で現れる項

k: ボルツマン定数 $= R / N_A$

[気体分子の飛行(並進)エネルギー]

x, y, z の3自由度をもち、エネルギーは

$$\varepsilon = \frac{3}{2}kT \quad (1\text{分子あたり})$$

$$E = \frac{3}{2}RT \quad (1\text{モルあたり}) \tag{1.3}$$

演習 1.3

空気中の音速は約 340 ms^{-1} である。空気の分子の飛行速度は、音速と同程度か、音速よりも速いと予想される。

a) 298 K における、1 分子の窒素 (N_2) の飛行エネルギーを均分原理から求めよ。

b) 上の *a*) で求めた飛行エネルギーから、飛行速度を求めよ。(N_2 の分子量は 28 である)
