

1. 導入

1.1 エネルギー

1.1.1 力学とエネルギー 高校物理-力学の要点

物理量	記号	SI 単位	備考
長さ	l	m	MKS (m-kg-s)
位置	x		
質量	m		
時間	t		
速度	v	m s^{-1}	"m/s" のような表記は推奨されない
加速度	a	m s^{-2}	
力	F	N	(ニュートン) = kg m s^{-2}
仕事	w	J	(ジュール) = $\text{N m} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$
エネルギー	E		
熱	q		
圧力	p	Pa	(パスカル) = $\text{N m}^{-2} = \text{J m}^{-3}$

加速度と力

- 力の働かない物体は等速直線運動をする.
- 加速度 = 単位時間あたりの速度変化

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

- 加速度は力によって発生する. 加速度は力に比例し、質量に反比例する.
1 N = 1 kg の物体に 1 m s^{-2} の加速度を与える力

$$F = ma \quad (\text{or } a = \frac{F}{m})$$

力と仕事

- 仕事 (エネルギーの一形態) は力と移動距離の積に比例する.
1 J = 1 N の力で 1 m 移動する時の仕事

$$w = Fl$$

重力

- 地球上の物体が受ける重力 F_g は、質量 m に比例する (→ 重力加速度は、質量によらない)

$$F_g = mg_n \quad (g_n: \text{標準重力加速度} \equiv 9.80665 \text{ m s}^{-2})$$

位置エネルギー

- 高さ h にある物体の位置エネルギー = 重力に逆らって物体を高さ h 持ち上げるのに必要な仕事

$$V_g = F_g h = mg_n h$$

運動エネルギー

- 静止物体に一定の力 F を与え続けると、時間 t において:

$$\text{速度: } v = at = \frac{F}{m} t$$

$$\text{位置: } x = \int_0^t v dt = \int_0^t \frac{Ft}{m} dt = \frac{Ft^2}{2m}$$

$$\text{仕事: } E_K = Fx = \frac{F^2 t^2}{2m} = \frac{m}{2} \frac{F^2 t^2}{m^2} = \frac{mv^2}{2} \quad (\text{速度 } v \text{ の物体の運動エネルギー})$$

1.1.2 熱力学への導入

圧力

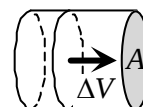
- 単位面積あたりの力 (A : 面積)

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N m}^{-2}$$

$$p = \frac{F}{A}$$

体積変化による仕事

- 圧力 p で体積が ΔV 変化 = 力 pA で距離 $\frac{\Delta V}{A}$ 移動 (A : 面積)



$$w (= pA \times \frac{\Delta V}{A}) = p\Delta V$$

$$\text{単位: Pa} \times \text{m}^3 = \text{N m}^{-2} \times \text{m}^3 = \text{N m} = \text{J}$$

熱

- 熱容量 C の物体の温度を ΔT 上げるのに必要な熱

$$q = C\Delta T$$

$$\text{単位: J K}^{-1} \times \text{K} = \text{J}$$

演習 1.1

* 単位質量あたりの比熱 ($\text{J K}^{-1} \text{g}^{-1}$) ではない!

パチンコ玉 (5 g の鉄球) の熱容量* は 2.24 J K^{-1} である。

- パチンコ玉1個を手で暖める ($20^\circ\text{C} \rightarrow 35^\circ\text{C}$ とせよ) のに必要なエネルギーはいくらか?
- 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個の高度は?
- 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?

- 電卓を使用してよい
- 関数電卓 ($\log$, $\exp$, x^y , etc のできるもの) を推奨

1.1.3 均分原理 ← 古典統計力学

「エネルギーは全自由度に等分配され、1自由度* あたり $\frac{1}{2}kT$ 」

$$k: \text{ボルツマン定数} = R / N_A$$

気体分子の並進(飛行)エネルギー

x, y, z の3自由度をもち、エネルギーは

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

$$E_{\text{tr}} = \frac{3}{2} RT \quad (\text{1モルあたり})$$

*自由度:

ここでは、「並進運動なら x, y, z の3方向の自由度、非直線分子の回転運動なら x, y, z 軸の3軸のまわりの3つの自由度」という程度に理解しておいて下さい。

分子の回転エネルギー

直線分子 (N_2, CO_2 など): 分子軸を z とすると、 x, y 軸回りの回転自由度 $r = 2$

非直線分子 (CH_4 など): x, y, z 軸回りの回転自由度 $r = 3$

$$E_{\text{rot}} = \frac{r}{2} RT$$

1.2 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]

$$pV = nRT$$

[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]

$$T / \text{K} = \theta / ^\circ\text{C} + 273.15$$

[圧力] p

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

慣用単位

bar (バー) : $1 \text{ bar} \equiv 10^5 \text{ Pa}$

atm (気圧) : $1 \text{ atm} \equiv 101325 \text{ Pa}$

[気体定数] R

$$= 8.314472 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N m} = 1 \text{ Pa m}^3 \text{ (圧力} \times \text{体積)}$$

[物質] n = モル数

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

アボガドロ定数 $N_A = 6.0221415 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

[標準状態]

標準環境状態 (SATP): 298.15 K (25°C), 1 bar

(以前の)標準状態 (STP): 0°C , 1 atm

演習 1.2

a) $R = 8.314472 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ から、単位 $\text{atm K}^{-1} \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$ (*) 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。($R = 8.314472 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ を使うこと)

(*) $\text{dm}^3 = \text{l}$ (リットル)

モル濃度 $M = \text{mol} / \text{l}$ は化学で伝統的に用いられる濃度の単位であるが、SI 単位に準じた表記として、 l (リットル) が SI 単位でないために dm^3 で代用し、 mol dm^{-3} もしくは mol / dm^3 と表記されるようになりつつある。

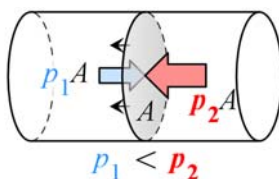
注) "d" (デシ) は $1/10$ を意味する SI 接頭辞であるが、SI 単位表記法では、接頭辞と単位の結合は指数よりも強い。すなわち、
 $\text{dm}^3 = (\text{dm})^3 = (0.1 \text{ m})^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$ (リットル) であり、決して、
 $\text{d}(\text{m}^3) = 0.1 (\text{m}^3) = 10^{-1} \text{ m}^3$ (リットル) ではない。
 $[1 \text{ ml} (\text{ミリリットル}) \text{ が } 1 \text{ cm}^3 \text{ と表記されるのと同様である}]$

1.3 平衡状態

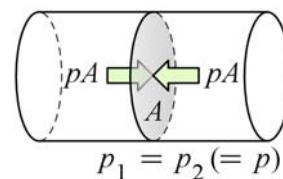
[圧平衡]

・力学的平衡状態

非平衡:



平衡:

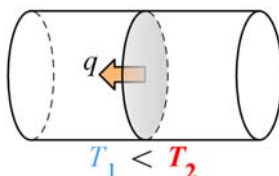


p_1, p_2 : 圧力, A : 断面積

[熱平衡]

・「温度」の根拠

非平衡:



熱平衡 = 温度が等しい

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 を物質質量 n (mol) で割ったもの: $X_m = \frac{X}{n}$

ex.) モル体積, モル熱容量