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	m	MKS (m-kg-s)
質量	m	kg	MKS (m-kg-s)
時間	t	s	MKS (m-kg-s)
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) = N m = kg m^2 s^{-2}
エネルギー	E	J	(ジュール) = N m = kg m^2 s^{-2}
熱	q	J	(ジュール) = N m = kg m^2 s^{-2}
圧力	p	Pa	(パスカル) = N m^{-2} = 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

$$a = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2 x}{\mathrm{d}t^2}$$

- 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

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

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

$$w = F\,l$$

[訂正] 板書で、9.80556 と書きましたが、正しくは 9.80665 です.

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:

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

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

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

1.1.2 熱力学への導入

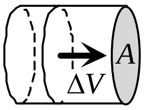
圧力

- 単位面積あたりの力 (A: 面積)

　1 Pa = 1 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)

$$w\ (= pA \times \frac{\Delta V}{A}) = p\Delta V$$　　単位: Pa × m^3 = N m^{-2} × m^3 = N m = 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: J K^{-1} × K = J

演習 1.1　　* 単位質量あたりの比熱 (J K^{-1} 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。

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？

- 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: ボルツマン定数 $= R / N_\mathrm{A}$

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

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

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

*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 $r = 3$

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

1.2 完全気体 = 理想気体

Boyle の法則 pV = const., Charles の法則 V = const. × (θ + 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]

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

[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 $^{12}\mathrm{C}$ 中の炭素原子数と同じ数の物質量
アボガドロ定数 $N_\mathrm{A} = 6.0221415 \times 10^{23}\ \mathrm{mol}^{-1}$

[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 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。

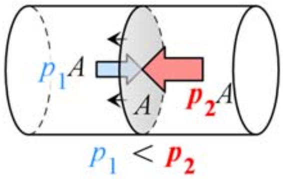
(*) $\mathrm{dm}^3 = l$ (リットル)
モル濃度 M = mol / l は化学で伝統的に用いられる濃度の単位であるが、SI 単位に準じた表記として、l (リットル) が SI 単位でないために dm^3 で代用し、 mol dm^{-3} もしくは mol / dm^3 と表記されるようになりつつある。

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、
$\mathrm{dm}^3 = (\mathrm{dm})^3 = (0.1\ \mathrm{m})^3 = 1\ l$ (リットル) であり、決して、
$\mathrm{d(m^3)} = 0.1\ (\mathrm{m}^3) = 100\ l$ (リットル) ではない。
[1 ml (ミリリットル) が 1 cm^3 と表記されるのと同様である]

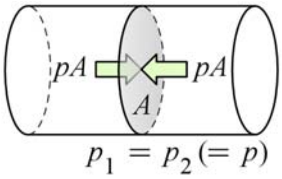
1.3 平衡状態

[圧平衡]

・力学的平衡状態　　非平衡:



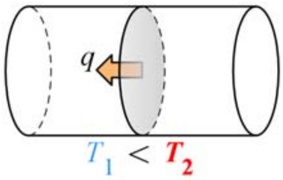
平衡:



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: $X_m = \dfrac{X}{n}$

ex.) モル体積, モル熱容量