

Physics

Akhia¹

2020 年 9 月 22 日

¹E-mail:akhialomgir362856@gmail.com

目录

1	气体动理论	3
1.1	热力学系统	4
1.2	平衡态	4
1.3	理想气体物态方程	4
1.4	能量均分定理	5
1.5	内能	5
1.6	麦克斯韦速率分布律	6
1.7	三种统计速率	6
1.8	平均自由程	7
2	热力学	8
2.1	热力学过程	8
2.2	p-V 图	8
2.3	系统内能	8
2.4	热力学第一定律	9
2.5	循环过程	11
2.5.1	正循环	12
2.6	热力学第二定律	12

Chapter 1

气体动理论

1.1 热力学系统

	能量交换	物质交换
孤立系统	false	false
封闭系统	true	false
开放系统	true	true

1.2 平衡态

1. 单一性
2. 稳定性
3. 热动平衡

1.3 理想气体物态方程

$$1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg}$$
$$T = t + 273.15$$

1. 波义耳定律(T) $p_1 V_1 = p_2 V_2$
2. 盖·吕萨克定律(P) $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
3. 查理定律(V) $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

理想气体物态方程:

$$pV = \frac{m'}{\mu} RT \quad m' = Nm, \mu = N_A m \quad (1.1)$$

理想气体压强公式:

$$\overline{v^2} = \frac{v_1^2 + \dots + v_n^2}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2 \quad (1.2)$$

$$pV = \frac{m}{M_{\text{mol}}} RT = \nu RT$$

$$m \ddot{x} = S((kg))$$

$$M_{\text{mol}} \ddot{x} = Si \ddot{x}$$

$$R \ddot{x} = Sn \Theta 8$$

$$\nu \ddot{x} i \ddot{x} p$$

理想气体常数:

$$p(atm), V(L), T(K) \Rightarrow R = 8.2 \times 10^{-2} atm \cdot L / (mol \cdot K)$$

$$p(atm), V(m^3), T(K) \Rightarrow R = 8.31 J / (mol \cdot K)$$

$$\text{玻尔兹曼常数: } k = \frac{R}{N_A}$$

$$p = nkT$$

$$p = \frac{2}{3} n \overline{\varepsilon_k}$$

$$\overline{\varepsilon_k} = \frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{3}{2} kT$$

1.4 能量均分定理

	自由度($\frac{1}{2}kT$ /自由度)
质点	i=3
刚体	i=6
刚性分子	i=t+r

1.5 内能

$$E = N_A \overline{\varepsilon} = N_A \frac{i}{2} kT \implies E = \frac{i}{2} RT \quad (1.3)$$

1.6 麦克斯韦速率分布律

1. 单个分子速率分布具有偶然性
2. 大量分子速率分布具有规律性

麦克斯韦分布函数：表示单位速率区间的分子数占总数的百分比

$$f(v) = \frac{1}{N} \frac{dN}{dv} \quad (1.4)$$

$$f(v) = 4\pi \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-m_0 v^2 / 2kT} v^2 \quad (1.5)$$

1.7 三种统计速率

1. 最概然速率

$$v_p = \sqrt{\frac{2kT}{m}} \approx 1.41 \sqrt{\frac{RT}{M}}, \approx 1.41 \sqrt{\frac{kT}{m}} \quad (1.6)$$

2. 平均速率

$$\bar{v} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n v_i N_i = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \approx 1.60 \sqrt{\frac{RT}{M}}, \approx 1.60 \sqrt{\frac{kT}{m}} \quad (1.7)$$

3. 方均根速率 $\sqrt{\bar{v}^2}$

$$\bar{v}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n v_i^2 N_i, \sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \approx 1.73 \sqrt{\frac{RT}{M}}, \approx 1.73 \sqrt{\frac{kT}{m}} \quad (1.8)$$

比较： $v_p < \bar{v} < \sqrt{\bar{v}^2}$

归一化条件：

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(v) dv = 1$$

$$dS = f(v) dv = \frac{dN}{N}$$

1.8 平均自由程

单位时间内平均碰撞次数： $\bar{Z} = \sqrt{2}\pi d^2 v n$

平均自由程每两次碰撞之间，一个分子自由运动的平均路程

$$\bar{\lambda} = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 p} \quad \bar{\lambda} \propto \frac{1}{p}, T \quad d = 10^{-10}m \quad (1.9)$$

Chapter 2

热力学

2.1 热力学过程

系统从平衡态到另一平衡态的过程

准静止状态：无限缓慢，每个中间态都可视为平衡态

2.2 p-V 图

1. 点：一个平衡态
2. 线：一个准静态过程

2.3 系统内能

1. 功(过程量)

p-V 图与曲线对 p-V 轴积分所成面积即为功

$$dW = Fdl = pSdl \quad (2.1)$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (2.2)$$

(a) $W > 0$ 系统对外界作正功

(b) $W < 0$ 系统对外界作负功

2. 热(过程量)

(a) 同:

i. 过程量: 与过程有关

ii. 等效性: 对系统热状态改变的作用相同

(b) 异:

i. 功: 宏观运动-分子热运动

ii. 功: 分子热运动-分子热运动

3. 内能 $E_2 - E_1 = W + Q$

2.4 热力学第一定律

系统吸收的能量, 一部分使内能增加, 另一部分用于系统对外做功

$$Q = E_2 - E_1 + W = \Delta E + W \quad (2.3)$$

$$dQ = dE + dW \quad (2.4)$$

$$Q = \Delta E + \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (2.5)$$

$$C_V = \frac{i}{2} R \quad (2.6)$$

1. 等容过程

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \text{const} \quad (2.7)$$

$$\nu = \frac{M}{M_{\text{mol}} = \frac{pV}{RT}} \quad (2.8)$$

$$Q_V = E_2 - E_1 = \nu \frac{i}{2} R \Delta T \quad (2.9)$$

p-V 图为横线

系统从外界吸收的热量全部转化为内能的增加

定容摩尔热容 C_V : 1mol 理想气体在等体过程中, 温度变化 1 摄氏度所变化的热量

2. 等压过程

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \text{const} \quad (2.10)$$

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \nu C_V \Delta T \quad (2.11)$$

$$Q_p = \nu C_V \Delta T + \nu R \Delta T \quad (2.12)$$

—

定压摩尔热容 C_p : 1mol 理想气体在等压过程中, 温度变化 1 摄氏度所变化的热量

$$C_p = C_V + R = \frac{i+2}{2} R \quad (2.13)$$

比热容比:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i} \quad (2.14)$$

3. 等温过程

$$Q_T = W = \int_{V_1}^{V_2} \frac{m}{M} \frac{Rt}{V} dV = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (2.15)$$

p-V 图为曲线

(a) 等温膨胀吸热做功

(b) 等温压缩放热被做功

4. 绝热过程

系统对外界做功，通过系统内能减小完成

热一律：

$$dW + dE = 0, dQ = 0 \quad (2.16)$$

$$\Delta E = \frac{m}{\mu} C_V (T_2 - T_1) \Delta W = -\frac{m}{\mu} C_V (T_2 - T_1) Q = 0 \quad (2.17)$$

$$V^{\gamma-1} T = \text{const}$$

$$pV^{\gamma} = \text{const} \quad (2.18)$$

$$p^{\gamma-1} T^{-\gamma} = \text{const}$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i} \quad (2.19)$$

绝热膨胀 $T_1 > T_2, W > 0$ 绝热压缩 $T_1 < T_2, W < 0$

绝热过程曲线斜率大于等于等温过程

2.5 循环过程

热机：持续将热量转变为功的机器

工质：吸收热量，对外做功

p-V 图呈闭合曲线

1. 顺时针：正循环，热机
2. 逆时针：负循环，制冷机

2.5.1 正循环

$$\Delta W = W_1 + W_2 > 0 \quad (2.20)$$

闭合曲线包裹过程为净功

热机效率

$$\eta = \frac{\Delta W}{Q_{in}} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \quad (2.21)$$

绝热线、等温线不能相交

2.6 热力学第二定律