

Physics

Akhia¹

2020 年 9 月 24 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 |
| 2.5.2 | 卡诺循环 | 12 |
| 2.6 | 热力学第二定律 | 12 |
| 2.6.1 | 热力学过程方向性 | 13 |
| 2.7 | 统计学意义 | 13 |
| 2.8 | 玻尔兹曼公式与熵增原理 | 13 |

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

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

闭合曲线包围过程为净功

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

2.5.2 卡诺循环

卡诺循环由两个准静态的等温过程和两个准静态的绝热过程组成。

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad T_1 > T_2 \quad (2.22)$$

2.6 热力学第二定律

一切实际热力学过程都只能按一定的方向进行，符合自然过程的方向的规律。

热力学第二定律微观实质：与热有关的宏观过程都不可逆（有序到无序）。

热力学第二定律：

1. 开尔文说法：不能制造出一种循环热机，从单一热源吸收热量，使之变为完全有用的功，而外界不发生变化。
2. 克劳修斯说法：不可能把热量从低温物体自动传到高温物体而不引起外界变化。

2.6.1 热力学过程方向性

1. 可逆过程：可以使系统回复原状态，同时外界也回复原状，则称为可逆过程。
2. 不可逆过程：不可以使系统回复原状态，或可以回复，但同时外界不能回复原状，则称为不可逆过程。

1. 单摆无摩擦摆动过程为可逆过程

2. 准静态无摩擦过程为可逆过程

1. 热功转换不可逆

2. 热传导不可逆

3. 绝热自由膨胀不可逆

4. 墨水扩散不可逆

2.7 统计学意义

封闭系统总是由概率小到概率大、微观状态数目少到微观状态数目多、有序宏观态到无序宏观态的方向进行

2.8 玻尔兹曼公式与熵增原理

熵(S)：体系内的混乱程度，与过程无关

玻尔兹曼公式： $S = k \ln \Sigma$

玻尔兹曼关系给出了熵的统计意义：熵是一个系统内部微观粒子热运动无序度的量度

热温比： $\frac{Q}{T}$

克劳修斯公式： $dS = \frac{dQ}{T}$

$$S_B - S_A = \int_A^B \frac{dQ}{T} \quad (2.23)$$

熵增原理：

1. 孤立系统不可逆过程： $\Delta S > 0$
2. 孤立系统可逆过程： $\Delta S = 0$