

多粒子体系的热运动

1 气体动理论

1.1 理想气体状态方程

$$PV = \frac{m}{M}RT, \quad R = 8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$

$$P = nkT, \quad n = \frac{N}{V}, \quad k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

1.2 内能

刚性原子平动与转动自由度：单原子(3+0)；双原子(3+2)；多原子(3+3)。

气体分子与气体的平动动能：

$$\bar{\varepsilon} = \frac{3}{2}kT, \quad E = \frac{3}{2} \frac{m}{M}RT$$

气体分子与气体的内能：

$$\bar{\varepsilon} = \frac{i}{2}kT, \quad E = \frac{i}{2} \frac{m}{M}RT$$

1.3 速度分布函数

速度分布函数的性质略。

三种常用速率(麦克斯韦分布函数)：

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}, \quad \sqrt{\bar{v}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}, \quad v_p = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$$

分子平均自由程与平均碰撞频率：

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi dn^2}, \quad \bar{Z} = \frac{\bar{v}}{\bar{\lambda}} = \sqrt{2}\pi dn^2 \bar{v}$$

2 热力学第一定律

$$Q = \Delta E + A, \quad \Delta E = \frac{i}{2} \frac{m}{M}R\Delta T, \quad A = P\Delta V$$

几种过程:

过程	恒定量	方程	吸热 Q	做功 A	内能变化 ΔE
等体过程	V	$\frac{P}{T} = C$	ΔE	0	$\frac{m}{M} C_V \Delta T$
等压过程	P	$\frac{V}{T} = C$	$\Delta E + A$ $\frac{m}{M} C_P \Delta T$	$P \Delta V$ $\frac{m}{M} R \Delta T$	$\frac{m}{M} C_V \Delta T$
等温过程	T	$T = C$	A $\frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}, \frac{m}{M} RT \ln \frac{P_1}{P_2}$	$\frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}, \frac{m}{M} RT \ln \frac{P_1}{P_2}$	0
绝热过程	$Q = 0$	$PV^\gamma = C_1$ $V^{\gamma-1} T = C_2$ $\frac{P^{\gamma-1}}{T^\gamma} = C_3$	0	$-\Delta E$ $\frac{P_1 V_1 - P_2 V_2}{\gamma - 1}$	$-A$ $\frac{m}{M} C_V \Delta T$

其中:

$$C_V = \frac{i}{2} R, \quad C_P = C_V + R = \frac{i+2}{2} R, \quad \gamma = \frac{i+2}{i}$$

3 循环效率

3.1 热机效率

净功(正功减负功)(PV 图所围面积) $A = Q_1 - Q_2$ 。

热机效率:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

3.2 卡诺循环

卡诺循环: 两个等温和两个绝热过程组成。

循环效率:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

其他热机循环效率:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \leq 1 - \frac{T_2}{T_1}$$