大学物理核心公式与考点汇总

浮萍

目录

1. 热学

1.1. 理想气体基本公式

- 理想气体物态方程：$pV = \frac{m}{M}RT$
- 压强的微观表达式：$p = \frac{2}{3}n\left(\frac{1}{2}m_0\overline{v^2}\right) = \frac{2}{3}n\bar{\varepsilon}_{\mathrm{kt}}$（$n$ 为单位体积分子数）
- 物态方程另一形式：$p = nkT$（$k = \frac{R}{N_A}$ 为玻尔兹曼常量）

1.2. 速率分布函数

- 速率分布函数定义：$\frac{\mathrm{d}N}{N_0} = f(v)\mathrm{d}v$ 或 $f(v) = \frac{\mathrm{d}N}{N_0\mathrm{d}v}$
- 麦克斯韦速率分布函数：

$$f(v) = 4\pi\left(\frac{m_0}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{m_0v^2}{2kT}}v^2$$

- 归一化条件：$\int_0^\infty f(v)\mathrm{d}v = 1$

1.3. 三种统计速率

- 最概然速率：$v_{\mathrm{p}} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$
- 平均速率：$\bar{v} = \int_0^\infty vf(v)\mathrm{d}v = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$
- 方均根速率：$\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$（其中 $\overline{v^2} = \int_0^\infty v^2f(v)\mathrm{d}v = \frac{3kT}{m_0}$）

1.4. 分子动能与自由度

- 平均平动动能：$\bar{\varepsilon}_{\mathrm{kt}} = \frac{1}{2}m_0\overline{v^2} = \frac{3}{2}kT$
- 刚性分子自由度：

分子种类	平动自由度	转动自由度	总自由度 i
单原子分子	3	0	3
刚性双原子分子	3	2	5
刚性多原子分子	3	3	6

- 分子平均动能：$\bar{\varepsilon}_{\mathrm{k}} = \frac{i}{2}kT$（$i$ 为总自由度）
- 理想气体内能：$E = \frac{m}{M}\frac{i}{2}RT$

1.5. 平均自由程与碰撞频率

- 平均自由程：$\overline{\lambda} = \frac{\bar{v}}{\bar{z}}$
- 碰撞截面：$\sigma = \pi d^2$（d 为分子直径）
- 平均碰撞频率：$\bar{z} = \sqrt{2}\sigma\bar{v}n = \sqrt{2}\pi d^2\bar{v}n$（$\bar{u} = \sqrt{2}\bar{v}$ 为平均相对速率）
- 平均自由程（常用）：$\overline{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}\sigma n} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n} = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 p}$

1.6. 热力学过程

1.6.1. 热容相关

- 摩尔定容热容：$C_{V,\mathrm{m}} = \left(\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T}\right)_V = \frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}T} = \frac{i}{2}R$
- 摩尔定压热容：$C_{p,\mathrm{m}} = \left(\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T}\right)_p = \frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}T} + R$
- 迈耶公式：$C_{p,\mathrm{m}} = C_{V,\mathrm{m}} + R$
- 比热容比：$\gamma = \frac{C_{p,\mathrm{m}}}{C_{V,\mathrm{m}}}$

1.6.2. 等值过程

- 等体过程：
$$Q_V = \Delta E = \frac{m}{M}C_{V,\mathrm{m}}(T_2 - T_1)$$
- 等压过程：
$$W = p(V_2 - V_1), \quad \Delta E = \frac{m}{M}C_{V,\mathrm{m}}(T_2 - T_1)$$
- 等温过程：
$$W = Q_T = \frac{m}{M}RT\ln\frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{M}RT\ln\frac{p_1}{p_2}$$
- 绝热过程（泊松公式）：
$$TV^{\gamma-1} = C_2, \quad \frac{p^{\gamma-1}}{T^\gamma} = C_3, \quad pV^\gamma = C_1$$
$$W = \frac{1}{\gamma-1}(p_1V_1 - p_2V_2)$$
绝热线斜率：$\left(\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}V}\right)_Q = -\gamma\frac{p}{V}$，等温线斜率：$\left(\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}V}\right)_T = -\frac{p}{V}$

1.7. 热机与熵

- 热机效率：$\eta = \frac{W}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$
- 制冷系数：$\varepsilon = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$
- 熵的统计意义：$S = k\ln\Omega$
- 熵变（热力学）：$\mathrm{d}S = \frac{\mathrm{d}Q}{T}$（可逆过程）

- 熵差计算：

$$\Delta S = \frac{m}{M} C_{V,\mathrm{m}} \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{m}{M} R \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta S = \frac{m}{M} C_{p,\mathrm{m}} \ln \frac{T_2}{T_1} - \frac{m}{M} R \ln \frac{p_2}{p_1}$$

可逆绝热过程：$\Delta S = 0$

1.7.1. 例题参考

3、5、6、13、18、20（热学基础）；4、5、7、8、9、10、13、15、17、19、21（热力学过程）——《大学物理学 (第五版)》王少杰

2. 光学

2.1. 半波损失

- 核心定义：光从光疏介质射向光密介质的反射光，相位突变 π（光程突变 $\lambda/2$）。
- 产生条件：仅反射光、光疏 $\to$ 光密介质、入射角非零。
- 干涉影响：单束半波损失会反转干涉加强/减弱条件。
- 应用场景：薄膜干涉、劈尖干涉、牛顿环。

2.2. 光的干涉

2.2.1. 杨氏双缝干涉

- 光程差：$\delta = r_2 - r_1 \approx \frac{xd}{D}$（$d$ 为缝间距，D 为缝到屏距离）
- 明纹条件：$\frac{xd}{D} = \pm k\lambda \to x = \pm k\frac{D\lambda}{d}$（$k = 0, 1, 2, \dots$）
- 暗纹条件：$\frac{xd}{D} = \pm(2k-1)\frac{\lambda}{2} \to x = \pm(2k-1)\frac{D\lambda}{2d}$（$k = 1, 2, 3, \dots$）
- 条纹间距：$\Delta x = \frac{D\lambda}{d}$

2.2.2. 薄膜干涉

等倾干涉 光程差：$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}$（$n_1 < n_2$，半波损失修正）

- 明纹：$2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} = (k - \frac{1}{2})\lambda$（$k = 1, 2, 3, \dots$）
- 暗纹：$2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} = k\lambda$（$k = 0, 1, 2, \dots$）

等厚干涉（劈尖） 空气劈尖光程差：$\delta = 2e + \frac{\lambda}{2}$

- 明纹：$2e = (2k-1)\frac{\lambda}{2}$（$k = 1, 2, 3, \dots$）
- 暗纹：$2e = k\lambda$（$k = 0, 1, 2, \dots$），棱边为零级暗纹
- 条纹间距：$L = \frac{\lambda}{2\theta}$（$\theta$ 为劈尖角）

牛顿环 光程差：$\delta = 2e + \frac{\lambda}{2}$，几何关系：$e \approx \frac{r^2}{2R}$（$R$ 为透镜曲率半径）

- 明环半径：$r_k = \sqrt{(k - \frac{1}{2})\lambda R}$（$k = 1, 2, 3, \ldots$）
- 暗环半径：$r_k = \sqrt{k\lambda R}$（$k = 0, 1, 2, \ldots$）
- 曲率半径测量：$R = \frac{d_{k+m}^2 - d_k^2}{4m\lambda}$（$d$ 为暗环直径）

2.3. 光的衍射

2.3.1. 单缝衍射（夫琅禾费）

- 最大光程差：$\Delta = a\sin\theta$（a 为缝宽，θ 为衍射角）
- 暗纹条件：$a\sin\theta = \pm k\lambda$（$k = 1, 2, 3, \ldots$）
- 明纹条件：$a\sin\theta = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2}$（$k = 1, 2, 3, \ldots$）
- 中央明纹半角宽度：$\theta_0 \approx \frac{\lambda}{a}$，线宽度：$\Delta x_0 = 2f\frac{\lambda}{a}$（$f$ 为透镜焦距）
- 相对光强：$\frac{I}{I_0} = \left(\frac{\sin\alpha}{\alpha}\right)^2$（$\alpha = \frac{\pi a\sin\theta}{\lambda}$）

2.3.2. 光栅衍射

- 光栅常量：$d = a + b$（a 为缝宽，b 为刻痕宽）
- 光栅方程（主极大）：$d\sin\varphi = \pm k\lambda$（$k = 0, 1, 2, \ldots$）
- 缺级条件：$k = \pm\frac{d}{a}k'$（$k' = 1, 2, 3, \ldots$，同时满足单缝暗纹）

2.3.3. 光学仪器分辨本领

- 瑞利判据：最小分辨角 $\delta\theta = 1.22\frac{\lambda}{d}$（$d$ 为孔径）
- 分辨本领：$R = \frac{1}{\delta\theta} = \frac{d}{1.22\lambda}$

2.4. 光的偏振

2.4.1. 马吕斯定律

- 自然光通过偏振片：$I_1 = \frac{I_0}{2}$
- 线偏振光通过检偏器：$I_2 = I_1\cos^2\alpha$（α 为偏振方向夹角）

2.4.2. 布儒斯特定律

- 起偏振角：$\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1}$（此时反射光为线偏振光，$i_0 + r = 90°$）

2.4.3. 波片

- 相位差：$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)d$（$n_o$、$n_e$ 为 o 光/e 光折射率）
- 四分之一波片：$\Delta\varphi = (2k+1)\frac{\pi}{2}$，光程差 $\delta = (2k+1)\frac{\lambda}{4}$
- 半波片：$\Delta\varphi = (2k+1)\pi$，光程差 $\delta = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$，振动面旋转 2α

2.4.4. 例题参考

干涉：8、9、11、13、16、18、19、20；衍射：23、24、25、26、28；偏振：32、33、36、38、40——《大学物理学 (第五版)》王少杰

3. 量子物理

3.1. 早期量子论

3.1.1. 黑体辐射

- 斯特藩-玻尔兹曼定律：$M_0(T) = \sigma_0 T^4$
- 维恩位移定律：$\lambda_m T = b$

3.1.2. 光电效应

- 光子能量：$\varepsilon = h\nu$
- 爱因斯坦方程：$h\nu = \frac{1}{2}mv_m^2 + A_0$（$A_0$ 为逸出功）
- 光子动量：$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$

3.1.3. 康普顿效应

- 波长改变量：$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\theta) = \frac{2h}{m_0 c}\sin^2\frac{\theta}{2}$
- 康普顿波长：$\lambda_C = \frac{h}{m_0 c}$

3.1.4. 玻尔氢原子理论

- 角动量量子化：$L = mvr = n\hbar$（$n = 1, 2, 3, \ldots$，$\hbar = \frac{h}{2\pi}$）
- 轨道半径：$r_n = a_0 n^2$（a_0 为玻尔半径）
- 能级：$E_n = -\frac{13.6}{n^2}\mathrm{eV}$（$n = 1$ 时 $E_1 = -13.6\mathrm{eV}$）

3.1.5. 德布罗意假设

- 物质波波长：$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$
- 非相对论近似：$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0 E_k}}$（$E_k$ 为动能）
- 电子波长（加速电压 U）：$\lambda = \frac{1.226}{\sqrt{U}}\mathrm{nm}$

3.2. 量子力学基础

3.2.1. 波函数

- 概率密度：$w = |\Psi|^2 = \Psi^* \cdot \Psi$
- 归一化条件：$\iiint_{-\infty}^{+\infty} |\Psi|^2 \mathrm{d}x\mathrm{d}y\mathrm{d}z = 1$
- 波函数条件：单值、有限、连续

3.2.2. 不确定关系

- 坐标-动量：$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$
- 时间-能量：$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$

3.2.3. 一维无限深方势阱

- 波函数：$\Psi_n = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{n\pi x}{a}$（$a$ 为势阱宽度）
- 能量本征值：$E_n = \frac{n^2 h^2}{8ma^2} = \frac{n^2 \pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$（$n = 1, 2, 3, \ldots$）

3.2.4. 线性谐振子

- 能量本征值：$E_n = (n + \frac{1}{2})\hbar\omega$（$n = 0, 1, 2, \ldots$）
- 基态能量：$E_0 = \frac{1}{2}\hbar\omega$

3.2.5. 氢原子量子数

- 主量子数：$n = 1, 2, 3, \ldots$（决定能量）
- 角量子数：$l = 0, 1, \ldots, n-1$，角动量 $L = \sqrt{l(l+1)}\hbar$
- 磁量子数：$m_l = 0, \pm 1, \ldots, \pm l$，$L_z = m_l \hbar$
- 自旋量子数：$s = \frac{1}{2}$，自旋磁量子数 $m_s = \pm\frac{1}{2}$，$S_z = \pm\frac{1}{2}\hbar$

3.2.6. 例题参考

早期量子论：2、4、7、8、12、14、17、18；量子力学：19、20、21、22、26、27——《大学物理学 (第五版)》王少杰