

大学物理核心公式与考点汇总

浮萍

Email: 3071974740@qq.com

GitHub: <https://github.com/Duckweed-yhb>

2026 年 2 月 23 日

目录

1 热学	3
1.1 理想气体基本公式	3
1.2 速率分布函数	3
1.3 三种统计速率	4
1.4 分子动能与自由度	4
1.5 平均自由程与碰撞频率	4
1.6 热力学过程	5
1.6.1 热容相关	5
1.6.2 等值过程	5
1.7 热机与熵	6
1.8 例题参考	6
2 光学	7
2.1 半波损失	7
2.2 光的干涉	7
2.2.1 杨氏双缝	7
2.2.2 薄膜等倾干涉	7
2.2.3 剪尖干涉	8

2.2.4	牛顿环	8
2.3	光的衍射	8
2.3.1	单缝衍射（夫琅禾费）	8
2.3.2	光栅衍射	9
2.3.3	光学仪器的分辨本领	9
2.4	光的偏振	9
2.4.1	马吕斯定律	9
2.4.2	布儒斯特定律	10
2.4.3	波片	10
2.5	例题参考	10
3	量子物理	11
3.1	早期量子论	11
3.1.1	黑体辐射	11
3.1.2	光电效应	11
3.1.3	康普顿效应	11
3.1.4	德布罗意波	12
3.2	量子力学基础	12
3.2.1	波函数	12
3.2.2	不确定关系	12
3.2.3	薛定谔方程与一维势阱	12
3.2.4	氢原子量子数	13
3.3	例题参考	14

1 热学

1.1 理想气体基本公式

- 理想气体物态方程:

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

- 压强微观表达式: $p = \frac{2}{3}n\bar{\varepsilon}_{kt} = \frac{2}{3}n\left(\frac{1}{2}m_0\overline{v^2}\right)$
- 物态方程另一形式: $p = nkT$
- 玻尔兹曼常量与气体常量关系: $k = \frac{R}{N_A}$

符号说明:

p : 压强 (Pa)

V : 体积 (m^3)

T : 热力学温度 (K)

m : 气体质量 (kg)

M : 摩尔质量 (kg/mol)

n : 分子数密度 (m^{-3})

R : 气体常量 (8.31 J/(mol · K))

k : 玻尔兹曼常量 (1.38×10^{-23} J/K)

m_0 : 分子质量 (kg)

N_A : 阿伏伽德罗常量 (6.02×10^{23} mol⁻¹)

1.2 速率分布函数

- 定义: $\frac{dN}{N_0} = f(v)dv$ 或 $f(v) = \frac{dN}{N_0 dv}$
- 麦克斯韦速率分布:

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

- 归一化条件: $\int_0^\infty f(v)dv = 1$

符号说明:

$f(v)$: 速率分布函数 (s/m)

m_0 : 分子质量 (kg)

N_0 : 总分子数 (个)

1.3 三种统计速率

速率类型	公式	物理意义
最概然速率	$v_p = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$	分布函数最大值对应的速率
平均速率	$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$	速率的算术平均值
方均根速率	$\sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$	速率平方平均的平方根

符号说明：

v_p : 最概然速率 (m/s)

\bar{v} : 平均速率 (m/s)

\bar{v}^2 : 速率平方平均 (m^2/s^2)

1.4 分子动能与自由度

- 平均平动动能：

$$\bar{\varepsilon}_{kt} = \frac{1}{2}m_0\bar{v}^2 = \frac{3}{2}kT$$

- 自由度表格：

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

- 分子的平均动能： $\bar{\varepsilon}_k = \frac{i}{2}kT$ (i 为分子的自由度数)

- 理想气体内能：

$$E = \frac{m}{M} \frac{i}{2} RT$$

符号说明：

i : 总自由度 (无量纲)

E : 内能 (J)

$\bar{\varepsilon}_k$: 分子平均动能 (J)

1.5 平均自由程与碰撞频率

- 分子的碰撞截面： $\sigma = \pi d^2$

- 平均碰撞频率: $\bar{z} = \sqrt{2}\sigma\bar{v}n = \sqrt{2}\pi d^2\bar{v}n$
- 平均自由程:

$$\bar{\lambda} = \frac{\bar{v}}{\bar{z}} = \frac{1}{\sqrt{2}\sigma n} = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 p}$$

符号说明:

- $\bar{\lambda}$: 平均自由程 (m)
 \bar{z} : 碰撞频率 (Hz)
 d : 分子有效直径 (m)
 σ : 碰撞截面 (m^2)
 n : 分子数密度 (m^{-3})

1.6 热力学过程

1.6.1 热容相关

- 摩尔定容热容: $C_{V,m} = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_V = \frac{dE}{dT} = \frac{i}{2}R$
- 摩尔定压热容: $C_{p,m} = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_p = \frac{dE}{dT} + R$
- 迈耶公式:

$$C_{p,m} = C_{V,m} + R$$

- 比热容比: $\gamma = \frac{C_{p,m}}{C_{V,m}}$

符号说明:

- $C_{V,m}$: 摩尔定容热容 (J/(mol · K))
 $C_{p,m}$: 摩尔定压热容 (J/(mol · K))
 γ : 比热容比 (无量纲)

1.6.2 等值过程

过程类型	核心条件	做功 W	内能变化 ΔE	热量 Q
等体过程	$V = \text{常量}$	0	$\frac{m}{M}C_{V,m}(T_2 - T_1)$	$Q_V = \Delta E$
等压过程	$p = \text{常量}$	$p(V_2 - V_1)$	$\frac{m}{M}C_{V,m}(T_2 - T_1)$	$Q_p = \Delta E + W$
等温过程	$T = \text{常量}$	$\frac{m}{M}RT \ln \frac{V_2}{V_1}$	0	$Q_T = W$
绝热过程	$Q = 0$	$\frac{1}{\gamma-1}(p_1V_1 - p_2V_2)$	$-W$	0

表 1: 理想气体等值过程对比

补充公式：

- 绝热过程泊松公式：

$$TV^{\gamma-1} = C_2; \quad \frac{p^{\gamma-1}}{T^\gamma} = C_3; \quad pV^\gamma = C_1$$

- 绝热线斜率：

$$\left(\frac{dp}{dV}\right)_Q = -\gamma \frac{p}{V}$$

$$(等温线斜率: \left(\frac{dp}{dV}\right)_T = -\frac{p}{V})$$

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： $S = k \ln \Omega$

- 熵变： $\Delta S = k \ln \frac{\Omega_2}{\Omega_1} > 0, \quad dS = \frac{dQ}{T}$

- 熵差计算：

$$\Delta S = \int_1^2 dS \geq \int_1^2 \frac{dQ}{T},$$

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

符号说明：

η : 热机效率 (无量纲)

ε : 制冷系数 (无量纲)

S : 熵 (J/K)

Ω : 热力学概率 (无量纲)

Q_1 : 吸热 (J)

Q_2 : 放热 (J)

1.8 例题参考

热学基础： 3、5、6、13、18、20；

热力学过程： 4、5、7、8、9、10、13、15、17、19、21；

教材： 《大学物理学(第五版)》王少杰

2 光学

2.1 半波损失

核心考点：半波损失

- 定义：光从光疏 → 光密介质反射时，相位突变 π （光程差加 $\lambda/2$ ），折射光无半波损失；
- 条件：仅反射光、光疏 → 光密入射 ($n_1 < n_2$)；
- 影响：干涉加强/减弱条件反转（薄膜/劈尖/牛顿环分析关键）。

符号说明：

λ : 入射光波长 (m)

n : 介质折射率 (无量纲)

2.2 光的干涉

2.2.1 杨氏双缝

- 光程差: $\delta = r_2 - r_1 \approx \frac{xd}{D}$
- 明纹: $\delta = \pm k\lambda \Rightarrow x = \pm k\frac{D\lambda}{d} \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$
- 暗纹: $\delta = \pm(2k - 1)\frac{\lambda}{2} \Rightarrow x = \pm(2k - 1)\frac{D\lambda}{2d}$
- 条纹间距:

$$\Delta x = \frac{D\lambda}{d}$$

符号说明：

d : 缝间距 (m)

D : 屏距 (m)

x : 条纹位置 (m)

k : 条纹级次 (无量纲)

2.2.2 薄膜等倾干涉

- 光程差:

$$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}$$

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

- 暗纹: $2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} = k\lambda$

符号说明:

e : 薄膜厚度 (m)

n_1/n_2 : 介质折射率 (无量纲)

i : 入射角 (rad)

2.2.3 瓞尖干涉

类型	条件	公式
光程差	空气碗尖	$\delta = 2e + \frac{\lambda}{2}$
明纹	$2e + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$	$e = (2k-1)\frac{\lambda}{4}$
暗纹	$2e + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$	$e = k\frac{\lambda}{2}$
条纹间距	几何关系	$L = \frac{\lambda}{2\theta}$

符号说明:

e : 空气层厚度 (m)

θ : 瓜尖角 (rad)

2.2.4 牛顿环

- 光程差: $\delta = 2e + \frac{\lambda}{2}$ ($e \approx \frac{r^2}{2R}$)
- 明环: $r_k = \sqrt{(k - \frac{1}{2})\lambda R}$
- 暗环: $r_k = \sqrt{k\lambda R}$
- 曲率半径测量:

$$R = \frac{d_{k+m}^2 - d_k^2}{4m\lambda}$$

符号说明:

r_k : 环半径 (m)

R : 透镜曲率半径 (m)

d_k : 第 k 圈暗环直径 (m)

2.3 光的衍射

2.3.1 单缝衍射 (夫琅禾费)

核心考点: 单缝衍射

- 半波带法: 最大光程差 $\Delta = a \sin \theta$, 半波带数 $N = \frac{2a \sin \theta}{\lambda}$
- 暗纹: $a \sin \theta = \pm k\lambda$ ($k = 1, 2, 3, \dots$)
- 中央明纹: 半角宽度 $\theta_0 \approx \frac{\lambda}{a}$, 角宽度 $\Delta\theta_0 \approx \frac{2\lambda}{a}$
- 相对光强: $\frac{I}{I_0} = \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha}\right)^2$ ($\alpha = \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}$)

符号说明:

a : 缝宽 (m)

θ : 衍射角 (rad)

$\Delta\theta_0$: 中央明纹角宽度 (rad)

2.3.2 光栅衍射

- 光栅常量: $d = a + b$ (a 缝宽, b 刻痕宽)
- 光栅方程 (主极大):

$$d \sin \varphi = \pm k\lambda \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

- 缺级条件: $k = k' \frac{d}{a}$ ($k' = \pm 1, \pm 2, \dots$)

符号说明:

d : 光栅常量 (m)

φ : 衍射角 (rad)

k : 主极大的级次 (无量纲)

2.3.3 光学仪器的分辨本领

- 瑞利判据:

$$\delta\theta = 1.22 \frac{\lambda}{d}$$

- 分辨本领: $R = \frac{1}{\delta\theta} = \frac{d}{1.22\lambda}$

符号说明:

λ : 入射光波长 (m)

d : 透镜/圆孔直径 (m)

2.4 光的偏振

2.4.1 马吕斯定律

$$I_2 = I_1 \cos^2 \alpha$$

(自然光入射: $I_1 = \frac{I_0}{2}$)

符号说明:

I_0 : 入射光强 (W/m^2)

α : 偏振方向夹角 (rad)

2.4.2 布儒斯特定律

$$\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1}$$

补充说明:

起偏角 i_0 下, 反射光为线偏振光 (垂直入射面), 反射光 \perp 折射光;

玻璃片堆多次反射后折射光为线偏振光。

2.4.3 波片

波片类型	相位差	核心效果
1/4 波片	$\Delta\varphi = (2k + 1)\frac{\pi}{2}$	线偏振光 (45° 入射) \rightarrow 圆偏振光
1/2 波片	$\Delta\varphi = (2k + 1)\pi$	线偏振光振动面转过 2α

表 2: 常见波片特性

2.5 例题参考

光的干涉: 8、9、11、13、16、18、19、20;

光的衍射: 23、24、25、26、28;

光的偏振: 32、33、36、38、40;

教材: 《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:

$$\lambda_m T = b$$

常数:

$$\sigma_0 = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4\text{)},$$

$$b = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

3.1.2 光电效应

$$h\nu = \frac{1}{2}mv_m^2 + A_0$$

(光子能量: $\varepsilon = h\nu$)

符号说明:

h : 普朗克常量 ($6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$)

ν : 频率 (Hz)

A_0 : 逸出功 (J)

v_m : 光电子最大速度 (m/s)

3.1.3 康普顿效应

- 波长改变量:

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\theta) = \frac{2h}{m_0 c} \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

- 康普顿波长: $\lambda_C = \frac{h}{m_0 c} = 2.43 \times 10^{-12} \text{ m}$

符号说明:

m_0 : 电子静质量 ($9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$)

c : 光速 ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

θ : 散射角 (rad)

3.1.4 德布罗意波

- 物质波波长（非相对论）：

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2m_0 E_k}}$$

- 物质波波长（相对论）：

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{E_k^2 + 2m_0 c^2 E_k}}$$

- 玻尔轨道量子化： $2\pi r = n\lambda \Rightarrow mvr = n\hbar$

符号说明：

p : 动量 ($\text{kg} \cdot \text{m/s}$)

λ : 物质波波长 (m)

\hbar : 约化普朗克常量 ($1.05 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$)

E_k : 动能 (J)

3.2 量子力学基础

3.2.1 波函数

核心考点：波函数核心性质

- 概率密度： $w = |\Psi|^2 = \Psi^* \cdot \Psi$
- 归一化条件： $\iiint_{-\infty}^{+\infty} |\Psi|^2 dx dy dz = 1$
- 标准条件：单值、有限、连续

3.2.2 不确定关系

核心考点：不确定性原理核心应用

- 位置-动量不确定关系： $\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$
- 时间-能量不确定关系： $\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$
- 计算技巧：结合德布罗意关系 $p = \frac{\hbar}{\lambda}$ ，由动量相对不确定度求位置不确定度

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$$

3.2.3薛定谔方程与一维势阱

核心考点：一维无限深势阱核心考点（含宽度 $2a$ 特殊情形）

- 一维定态薛定谔方程:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi}{dx^2} + V(x)\psi = E\psi$$

- 宽度为 a 的一维无限深势阱 ($0 < x < a$): - 归一化波函数: $\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin\left(\frac{n\pi x}{a}\right)$ - 能量本征值: $E_n = \frac{n^2\hbar^2}{8ma^2}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$)

- 宽度为 $2a$ 的一维无限深势阱 ($0 < x < 2a$): - 归一化波函数: $\psi_n(x) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{a}} \sin\left(\frac{n\pi x}{2a}\right), & 0 < x < 2a \\ 0, & x \leq 0 \text{ 或 } x \geq 2a \end{cases}$ - 能量本征值:

$$E_n = \frac{n^2\pi^2\hbar^2}{8ma^2} = \frac{n^2\hbar^2}{32ma^2} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

- 能级跃迁与光子频率: - 第二激发态 ($n = 3$) → 基态 ($n = 1$) 能量差:

$$\Delta E = E_3 - E_1 = \frac{\pi^2\hbar^2}{ma^2}$$

- 辐射光子频率:

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{\pi\hbar}{2ma^2}$$

- 相邻能级差与经典极限: - 相邻能级差: $\Delta E_n = E_{n+1} - E_n = \frac{(2n+1)\pi^2\hbar^2}{8ma^2}$ - 经典极限: $n \rightarrow \infty$ 时, $\frac{\Delta E_n}{E_n} = \frac{2n+1}{n^2} \rightarrow 0$,
能级连续, 量子结果趋近经典理论

符号说明:

m : 粒子质量 (kg)

\hbar : 约化普朗克常量 ($\hbar = h/(2\pi)$)

n : 量子数 (无量纲, $n = 1, 2, 3, \dots$)

E_n : 第 n 能级能量 (J)

3.2.4 氢原子量子数

核心考点: 氢原子量子数核心考点

- 量子态存在条件:

$$n \geq 1, 0 \leq l \leq n-1, -l \leq m_l \leq l, m_s = \pm \frac{1}{2}$$

- 角动量计算: $L = \sqrt{l(l+1)}\hbar, L_z = m_l\hbar$

- 轨道对应: $l = 0(s), 1(p), 2(d)$, 如 3p 对应 $n = 3, l = 1$

量子数	取值范围	物理意义
主量子数 n	$n = 1, 2, 3, \dots$	决定能量: $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$ eV
角量子数 l	$l = 0, 1, \dots, n - 1$	决定角动量: $L = \sqrt{l(l+1)}\hbar$
磁量子数 m_l	$m_l = 0, \pm 1, \dots, \pm l$	决定角动量分量: $L_z = m_l \hbar$
自旋磁量子数 m_s	$m_s = \pm \frac{1}{2}$	决定自旋角动量: $S_z = m_s \hbar$

表 3: 氢原子量子数汇总

3.3 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;

教材: 《大学物理学(第五版)》王少杰