他以近乎神性的心智，

以数学为炬，

照亮行星运转、彗星行迹与海洋潮汐。
艾萨克·牛顿的墓志铭

# 大学物理
# 核心公式与考点汇总

——简洁版复习讲义——

**内容概要：** 热学 | 光学 | 量子物理

**适用场景：** 课程复习 · 公式速查


**整理者：** 浮萍

**联系邮箱：** 3071974740@qq.com

**GitHub：** https://github.com/Duckweed-yhb



整理日期：2026 年 2 月 25 日

**版本：** v1.0 简洁版

# 目录

# 1 热学

## 1.1 理想气体基本公式

- 理想气体物态方程：

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

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

**符号说明：**

$p$：压强（Pa）

$V$：体积（m³）

$T$：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（$1.38 \times 10^{-23}$ J/K）

$m_0$：分子质量（kg）

$N_\mathrm{A}$：阿伏伽德罗常量（$6.02 \times 10^{23}$ mol⁻¹）

## 1.2 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：

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

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

**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 | $v_{\mathrm{p}} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$ | 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 | $\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ | 速率平方平均的平方根 |

**符号说明：**

$v_{\mathrm{p}}$：最概然速率（m/s）

$\bar{v}$：平均速率（m/s）

$\overline{v^2}$：速率平方平均（m²/s²）

## 1.4 分子动能与自由度

- 平均平动动能：

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

- 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：$\bar{\varepsilon}_{\mathrm{k}} = \frac{i}{2}kT$（$i$ 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）

$\bar{\varepsilon}_{\mathrm{k}}$：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：

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

**符号说明：**

$\overline{\lambda}$：平均自由程（m）

$\bar{z}$：碰撞频率（Hz）

$d$：分子有效直径（m）

$\sigma$：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：$C_{V,\mathrm{m}} = \left(\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T}\right)_V = \frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}T} = \frac{i}{2}R$
- 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：$\gamma = \frac{C_{p,\mathrm{m}}}{C_{V,\mathrm{m}}}$

**符号说明：**

$C_{V,\mathbf{m}}$：摩尔定容热容（J/(mol・K)）

$C_{p,\mathbf{m}}$：摩尔定压热容（J/(mol・K)）

$\gamma$：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 $\Delta E$ | 热量 $Q$ |
|---|---|---|---|---|
| 等体过程 | $V=$ 常量 | 0 | $\frac{m}{M}C_{V,\mathrm{m}}(T_2 - T_1)$ | $Q_V = \Delta E$ |
| 等压过程 | $p=$ 常量 | $p(V_2 - V_1)$ | $\frac{m}{M}C_{V,\mathrm{m}}(T_2 - T_1)$ | $Q_p = \Delta E + W$ |
| 等温过程 | $T=$ 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：

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

- 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：$S=k\ln\Omega$
- 熵变：$\Delta S=k\ln\frac{\Omega_2}{\Omega_1}>0$，$\mathrm{d}S=\frac{\mathrm{d}Q}{T}$
- 熵差计算：
  $\Delta S=\int_1^2\mathrm{d}S\geqslant\int_1^2\frac{\mathrm{d}Q}{T}$，
  $\Delta S=\frac{m}{M}C_{V,\mathrm{m}}\ln\frac{T_2}{T_1}+\frac{m}{M}R\ln\frac{V_2}{V_1}$

**符号说明：**

$\eta$：热机效率（无量纲）

$\varepsilon$：制冷系数（无量纲）

$S$：熵（J/K）

$\Omega$：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 $\to$ 光密介质反射时，相位突变 $\pi$（光程差加 $\lambda/2$），折射光无半波损失；
- 条件：仅反射光、光疏 $\to$ 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：**

$\lambda$：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：$\delta = \pm k\lambda \Rightarrow x = \pm k\frac{D\lambda}{d} \quad (k = 0, 1, 2, \ldots)$
- 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：$2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} = \left(k - \frac{1}{2}\right)\lambda$

- 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 劈尖干涉

| 类型 | 条件 | 公式 |
|---|---|---|
| 光程差 | 空气劈尖 | $\delta = 2e + \frac{\lambda}{2}$ |
| 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）

$\theta$：劈尖角（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：$a\sin\theta = \pm k\lambda \quad (k = 1, 2, 3, \dots)$
- 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）

$\theta$：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：$k = k'\frac{d}{a} \quad (k' = \pm 1, \pm 2, \dots)$

**符号说明：**

$d$：光栅常量（m）

$\varphi$：衍射角（rad）

$k$：主极大级次（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：**

$\lambda$：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/m²）

$\alpha$：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）→ 圆偏振光 |
| 1/2 波片 | $\Delta\varphi = (2k+1)\pi$ | 线偏振光振动面转过 $2\alpha$ |

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：

$$\lambda_\mathrm{m} T = b$$

**常数：**

$\sigma_0 = 5.67 \times 10^{-8}$ W/(m² • K⁴)，

$b = 2.898 \times 10^{-3}$ m • K

### 3.1.2 光电效应

$$h\nu = \frac{1}{2} m v_\mathrm{m}^2 + A_0$$

（光子能量：$\varepsilon = h\nu$）

**符号说明：**

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

$\nu$：频率（Hz）

$A_0$：逸出功（J）

$v_\mathbf{m}$：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：$\lambda_\mathrm{C} = \frac{h}{m_0 c} = 2.43 \times 10^{-12}$ m

**符号说明：**

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

$c$：光速（$3 \times 10^8$ m/s）

$\theta$：散射角（rad）

### 3.1.4 德布罗意波

- 物质波波长（非相对论）：

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2m_0 E_\mathrm{k}}}$$

- 物质波波长（相对论）：
  $\lambda = \frac{hc}{\sqrt{E_\mathrm{k}^2 + 2m_0c^2 E_\mathrm{k}}}$
- 玻尔轨道量子化：$2\pi r = n\lambda \Rightarrow mvr = n\hbar$

**符号说明：**

$p$：动量（kg · m/s）

$\lambda$：物质波波长（m）

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

$E_\mathrm{k}$：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：$\iiint_{-\infty}^{+\infty} |\Psi|^2 \mathrm{d}x\mathrm{d}y\mathrm{d}z = 1$
- 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 $p = \frac{h}{\lambda}$，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：
  $-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\mathrm{d}^2\psi}{\mathrm{d}x^2}+V(x)\psi=E\psi$
- 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：$E_n=\frac{n^2h^2}{8ma^2}\quad(n=1,2,3,\dots)$
- 宽度为 $2a$ 的一维无限深势阱（$0<x<2a$）：- 归一化波函数：$\psi_n(x)=\begin{cases}\sqrt{\frac{1}{a}}\sin\left(\frac{n\pi x}{2a}\right), & 0<x<2a\\ 0, & x\le 0\text{ 或}x\ge 2a\end{cases}$ - 能量本征值：

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

- 能级跃迁与光子频率：- 第二激发态（$n=3$）$\to$ 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：$n\to\infty$ 时，$\frac{\Delta E_n}{E_n}=\frac{2n+1}{n^2}\to 0$，
  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：
  $n\ge 1,\ 0\le l\le n-1,\ -l\le m_l\le l,\ m_s=\pm\frac{1}{2}$
- 角动量计算：$L=\sqrt{l(l+1)}\hbar$，$L_z=m_l\hbar$
- 轨道对应：$l=0(\mathrm{s}),1(\mathrm{p}),2(\mathrm{d})$，如 3p 对应 $n=3,l=1$

| 量子数 | 取值范围 | 物理意义 |
|---|---|---|
| 主量子数 $n$ | $n = 1, 2, 3, \ldots$ | 决定能量：$E_n = -\frac{13.6}{n^2}$ eV |
| 角量子数 $l$ | $l = 0, 1, \ldots, n-1$ | 决定角动量：$L = \sqrt{l(l+1)}\hbar$ |
| 磁量子数 $m_l$ | $m_l = 0, \pm1, \ldots, \pm l$ | 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