

# Physics

Akhia<sup>1</sup>

2020 年 10 月 13 日

<sup>1</sup>E-mail:akhialomgir362856@gmail.com

# 目录

|          |              |          |
|----------|--------------|----------|
| <b>1</b> | <b>气体动理论</b> | <b>4</b> |
| 1.1      | 热力学系统        | 5        |
| 1.2      | 平衡态          | 5        |
| 1.3      | 理想气体物态方程     | 5        |
| 1.4      | 能量均分定理       | 7        |
| 1.5      | 内能           | 7        |
| 1.6      | 麦克斯韦速率分布律    | 7        |
| 1.7      | 三种统计速率       | 7        |
| 1.8      | 平均自由程        | 8        |
| <b>2</b> | <b>热力学</b>   | <b>9</b> |
| 2.1      | 热力学过程        | 9        |
| 2.2      | p-V 图        | 9        |
| 2.3      | 系统内能         | 9        |
| 2.4      | 热力学第一定律      | 10       |
| 2.5      | 循环过程         | 12       |
| 2.5.1    | 正循环          | 13       |
| 2.5.2    | 卡诺循环         | 13       |
| 2.6      | 热力学第二定律      | 13       |
| 2.6.1    | 热力学过程方向性     | 14       |
| 2.7      | 统计学意义        | 14       |
| 2.8      | 玻尔兹曼公式与熵增原理  | 14       |

|          |             |           |
|----------|-------------|-----------|
| <b>3</b> | <b>波动光学</b> | <b>16</b> |
| 3.1      | 光的本质        | 16        |
| 3.2      | 光的相干性       | 16        |
| 3.2.1    | 发光机制        | 16        |
| 3.2.2    | 相干光源        | 17        |
| 3.2.3    | 波动几何描述      | 17        |
| 3.3      | 惠更斯原理       | 17        |
| 3.3.1    | 相干光的获得      | 18        |
| 3.4      | 杨氏双缝实验      | 18        |
| 3.4.1    | 明暗条纹位置的推导   | 18        |
| 3.4.2    | 光程          | 18        |
| 3.5      | 薄膜干涉        | 19        |
| 3.5.1    | 薄膜干涉的应用     | 19        |
| 3.6      | 等厚干涉        | 20        |
| 3.6.1    | 劈尖干涉        | 20        |
| 3.6.2    | 牛顿环         | 21        |

# 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

单位换算：

$$\begin{aligned}1 \text{ atm} &= 1.013 \times 10^5 \\ \text{Pa} &= 760 \text{ mmHg} \\ T &= t + 273.15\end{aligned}\tag{1.1}$$

1. 波义耳定律(T)

$$p_1 V_1 = p_2 V_2\tag{1.2}$$

2. 盖·吕萨克定律(P)

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}\tag{1.3}$$

3. 查理定律(V)

$$\frac{p_1}{T_2} = \frac{p_2}{T_2}\tag{1.4}$$

理想气体物态方程:

$$pV = \frac{m'}{\mu}RT \quad m' = Nm, \mu = N_A m \quad (1.5)$$

理想气体压强公式:

$$\overline{v^2} = \frac{v_1^2 + \dots + v_n^2}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2 \quad (1.6)$$

$$pV = \frac{m}{M_{\text{mol}}}RT = \nu RT \quad (1.7)$$

1.  $m(g)$ : 气体质量
2.  $M_{\text{mol}}(g/mol)$ : 气体摩尔质量
3.  $R$ : 气体普适量
4.  $\nu$ : 摩尔数

理想气体常数:

$$\begin{aligned} p(\text{atm}), V(L), \quad T(K) &\Rightarrow R = 8.2 \times 10^{-2} \text{atm} \cdot L / (\text{mol} \cdot K) \\ p(\text{atm}), V(\text{m}^3), \quad T(K) &\Rightarrow R = 8.31 \text{J} / (\text{mol} \cdot K) \end{aligned} \quad (1.8)$$

玻尔兹曼常数:

$$k = \frac{R}{N_A} \quad (1.9)$$

$$\begin{aligned} p &= nkT \\ p &= \frac{2}{3}n\overline{\varepsilon_k} \\ \overline{\varepsilon_k} &= \frac{1}{2}m\overline{v^2} = \frac{3}{2}kT \end{aligned} \quad (1.10)$$

| 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 |

## 1.4 能量均分定理

## 1.5 内能

$$E = N_A \bar{\epsilon} = N_A \frac{i}{2} kT \implies E = \frac{i}{2} RT \quad (1.11)$$

## 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

$$f(v) = \frac{1}{N} \frac{dN}{dv} \quad (1.12)$$

$$f(v) = 4\pi \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-m_0 v^2 / 2kT} v^2 \quad (1.13)$$

## 1.7 三种统计速率

1. 最概然速率

$$v_p = \sqrt{\frac{2kT}{m}} \approx 1.41 \sqrt{\frac{RT}{M}}, \approx 1.41 \sqrt{\frac{kT}{m}} \quad (1.14)$$

2. 平均速率

$$\bar{v} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n v_i N_i = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \approx 1.60 \sqrt{\frac{RT}{M}}, \approx 1.60 \sqrt{\frac{kT}{m}} \quad (1.15)$$

3. 方均根速率 $\sqrt{\bar{v}^2}$

$$\bar{v}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n v_i^2 N_i, \sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \approx 1.73 \sqrt{\frac{RT}{M}}, \approx 1.73 \sqrt{\frac{kT}{m}} \quad (1.16)$$

比较:

$$v_p < \bar{v} < \sqrt{\bar{v}^2} \quad (1.17)$$

归一化条件:

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} f(v) dv &= 1 \\ dS &= f(v) dv = \frac{dN}{N} \end{aligned} \quad (1.18)$$

## 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。

$$\bar{\lambda} = \frac{kT}{\sqrt{2} \pi d^2 p} \quad \bar{\lambda} \propto \frac{1}{p}, T \quad d = 10^{-10} m \quad (1.19)$$



# 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 $E_2 - E_1 = W + Q$ $W + Q = \Delta E$

## 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作功。

$$Q = E_2 - E_1 + W = \Delta E + W \quad (2.3)$$

$$dQ = dE + dW \quad (2.4)$$

$$Q = \Delta E + \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (2.5)$$

$$C_V = \frac{i}{2} R \quad (2.6)$$

### 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：不可能把热量从低热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：  $\Delta S = 0$

# Chapter 3

## 波动光学

### 3.1 光的本质

光波是电磁波

同一媒质中的相对光强： $I = E_0^2$

### 3.2 光的相干性

#### 3.2.1 发光机制

光源

##### 1. 普通光源

(a) 热光源:热能激发原子能级跃迁

(b) 冷光源: 化学能, 电能等激发

##### 2. 激光光源

原子发光特点:

##### 1. 随机性

##### 2. 间歇性



3. 各原子各级发光独立，波列互不相干
4. 不相干性（独立光源不可能是一对相干光源：原子发光间歇而随机，振动方向和相位差不可能相同）

### 3.2.2 相干光源

相干光源条件：

1. 振动频率相同
2. 振动方向相同
3. 相位差恒定

原子自发辐射的间断性和相位随机性，不利于实现干涉条件。

$$x_1 + x_2 = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)} \cos(\omega t + \varphi) \quad (3.1)$$

相长、相消：

$$\begin{aligned} \delta = r_2 - r_1 &= \pm k\lambda \\ \delta = r_2 - r_1 &= \pm(2k + 1)\lambda \end{aligned} \quad (3.2)$$

### 3.2.3 波动几何描述

1. 波线
2. 波面
3. 平面波
4. 球面波

## 3.3 惠更斯原理

惠更斯原理：媒质中波动到的各点，都可以看作新波源，子波的包络面就是该时刻的波面。

### 3.3.1 相干光的获得

干涉光的获得：

1. 分波面法
2. 分振幅法

## 3.4 杨氏双缝实验

### 3.4.1 明暗条纹位置的推导

明纹条件

$$\begin{aligned}\delta &= r_2 - r_1 = d \sin \theta \approx d \tan \theta \\ &= \frac{xd}{D} = k\lambda \\ x &= k \frac{D\lambda}{d} & k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \\ \Delta x &= \frac{D\lambda}{d}\end{aligned}\tag{3.3}$$

暗纹条件

$$\begin{aligned}\mu \pm \delta &= \frac{xd}{D} = (2k+1) \frac{\lambda}{2} \\ x &= (2k+1) \frac{D\lambda}{2d} & k = 0, 1, 2 \dots \\ \Delta x &= \frac{D\lambda}{d}\end{aligned}\tag{3.4}$$

### 3.4.2 光程

真空光速：C

光在介质中的速度： $v = \frac{C}{n}$

真空中： $\lambda_0 = \frac{C}{\nu}$

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{C}{n\nu} = \frac{\lambda_0}{n} \quad (3.5)$$

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

$$\frac{x}{\lambda} = \frac{x}{\frac{\lambda_0}{n}} = \frac{xn}{\lambda_0}$$

$$(r_2 - t) + nt = r_2 + (n - 1)$$

$$r_2 = (r_1 - d) + nd$$

## 3.5 薄膜干涉

当光从折射率小的光疏介质，正入射或掠入射于折射率大的光密介质时，则反射光有半波损失。当光从折射率大的光密介质，正入射于折射率小的光疏介质时，反射光没有半波损失。折射光没有相位突变。

若厚度  $e$  一定，则相同入射角入射的光束，经膜的上下表面反射后产生的相干光束都有相同的光程差，从而对应于干涉图样中的一条条纹，此称干涉为**等倾干涉**（不要求）若入射角  $i$  一定，则称此干涉为**等厚干涉**（重点）薄膜厚度在  $10^{-7}m$  数量级。

相位相差了  $\pi$  相当于波程差了  $\frac{\lambda}{2}$ ，称为半波损失。

$$\delta = \delta_0 + \delta' = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \begin{cases} \frac{\lambda}{2} & \text{反射条件不同} \\ 0 & \text{反射条件相同} \end{cases} \quad (3.6)$$

明文暗纹：

$$\delta_r = \begin{cases} k\lambda & (k = 1, 2, 3 \dots) \\ \frac{2k+1}{2}\lambda & (k = 0, 1, 2 \dots) \end{cases} \quad (3.7)$$

$k$  的取值要注意：如  $k = 3$  则表示明纹 3 条，暗纹 4 条。

### 3.5.1 薄膜干涉的应用

增透膜:现代光学仪器中，为了减少入射光能量，在仪器表面上反射时所引起的损失，常在仪器表面上镀一层厚度均匀的薄膜。

## 3.6 等厚干涉

### 3.6.1 劈尖干涉

$$\theta \approx 10^{-4} \sim 10^{-5} \text{rad}$$

$$\delta = 2e + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda, & k = 1, 2, 3, \dots \\ \frac{2k+1}{2}\lambda, & k = 0, 1, 2, \dots \end{cases} \quad (3.8)$$

$e = 0$  时是暗纹，证明了半波损失的存在。

#### 条纹与厚度关系

相邻两条明纹暗纹间的厚度差：

$$\begin{aligned} 2e_k + \frac{\lambda}{2} &= k\lambda \\ 2e_{k+1} + \frac{\lambda}{2} &= (k+1)\lambda \end{aligned} \quad \text{条纹间距: } e_{k+1} - e_k = \frac{\lambda}{2} \quad (3.9)$$

#### 干涉条纹移动

1.  $e$  变大，条纹下移
2.  $e$  变小，条纹上移

#### 劈尖干涉的应用

测膜厚： $e = k \frac{\lambda}{2n}$   $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

检验光学元件平整度：

1. 外弯：工件凸起
2. 内弯：工件凹陷

测量细丝直径：

$$\begin{aligned} \tan \theta &= \frac{\lambda}{2b} \\ d &= \tan \theta \times L = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{L}{b} \end{aligned} \quad (3.10)$$

### 3.6.2 牛顿环

由一块平板玻璃和一平凸透镜组成。

由于  $e$  变化呈曲线，条纹距离变化不等，中疏边密。

$$\delta = 2e + \frac{\lambda}{2} \quad (3.11)$$

$$r = \sqrt{2eR} = \sqrt{(\delta - \frac{\lambda}{2})R} = \begin{cases} \sqrt{(k - \frac{1}{2})R\lambda} & \text{明纹} \\ \sqrt{kR\lambda} & \text{暗纹} \end{cases} \quad (3.12)$$