Physics

Akhia[1]

2020 年 10 月 15 日

[1]E-mail:akhialomgir362856@gmail.com

目录

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：

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

1. 波义耳定律(T)

$$p_1V_1 = p_2V_2 \tag{1.2}$$

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：

$$pV = \frac{m'}{\mu}RT \qquad\qquad m' = Nm, \mu = N_A m \tag{1.5}$$

理想气体压强公式：

$$\overline{v^2} = \frac{v_1^2 + \ldots + V_n^2}{N} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} v_i^2 \tag{1.6}$$

$$pV = \frac{m}{M_{\mathrm{mol}}}RT = \nu RT \tag{1.7}$$

1. m(g) : 气体质量
2. $M_{\mathrm{mol}}(g/mol)$: 气体摩尔质量
3. R : 气体普适常量
4. ν : 摩尔数

理想气体常数：

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

玻尔兹曼常数：

$$k = \frac{R}{N_A} \tag{1.9}$$

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

	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

$$E = N_A\overline{\varepsilon} = N_A\frac{i}{2}kT \implies E = \frac{i}{2}RT \tag{1.11}$$

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

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

$$f(v) = 4\pi\left(\frac{m_0}{2\pi kT}\right)^{3/2} e^{-m_0v^2/2kT}v^2 \tag{1.13}$$

1.7 三种统计速率

1. 最概然速率

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

2. 平均速率

$$\overline{v} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n} v_iN_i = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \approx 1.60\sqrt{\frac{RT}{M}}, \approx 1.60\sqrt{\frac{kT}{m}} \tag{1.15}$$

3. 方均根速率$\sqrt{\overline{v}^2}$

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

比较：

$$v_p<\overline{v}<\sqrt{\overline{v}^2} \tag{1.17}$$

归一化条件：

$$\begin{aligned}&\int_{\infty}^{0}f(v)dv=1\\&dS=f(v)dv=\frac{dN}{N}\end{aligned} \tag{1.18}$$

1.8 平均自由程

单位时间内平均碰撞次数：$\overline{Z}=\sqrt{2}\pi d^2vn$
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**。

$$\overline{\lambda}=\frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2p}\qquad \overline{\lambda}\propto\frac{1}{p},T\qquad d=10^{-10}m \tag{1.19}$$

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

$$dW = Fdl = pSdl \tag{2.1}$$

$$W = \int_{V1}^{V2} pdV \tag{2.2}$$

   (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 $E_2 - E_1 = W + Q$ $W + Q$ﬃ$+\Delta\Psi s$ﬁﬃﬀs

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。

$$Q = E_2 - E_1 + W = \Delta E + W \tag{2.3}$$

$$dQ = dE + dW \tag{2.4}$$

$$Q = \Delta E + \int_{V1}^{V2} pdV \tag{2.5}$$

$$C_V = \frac{i}{2}R \tag{2.6}$$

1. 等容过程

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = const \tag{2.7}$$

$$\nu = \frac{M}{M_{\mathrm{mol}} = \frac{pV}{RT}} \tag{2.8}$$

$$Q_V = E_2 - E_1 = \nu \frac{i}{2} R \Delta T \tag{2.9}$$

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

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = const \tag{2.10}$$

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \nu C_V \Delta T \tag{2.11}$$

$$Q_p = \nu C_V \Delta T + \nu R \Delta T \tag{2.12}$$

—

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。

$$C_p = C_V + R = \frac{i+2}{2} R \tag{2.13}$$

比热容比：

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i} \tag{2.14}$$

3. 等温过程

$$Q_T = W = \int_{V_1}^{V_2} \frac{m}{M}\frac{Rt}{V}dV = \frac{m}{M}RT\ln\frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{M}RT\ \ln\frac{p_1}{p_2} \tag{2.15}$$

p-V 图为曲线

(a) 等温膨胀吸热作功

(b) 等温压缩放热被作功

4. 绝热过程

系统对外界作功，通过系统内能减小完成。

热一律：

$$dW + dE = 0dQ = 0 \tag{2.16}$$

$$\Delta E = \frac{m}{\mu}C_V(T_2 - T_1)\Delta W = -\frac{m}{\mu}C_V(T_2 - T_1)Q = 0 \tag{2.17}$$

$$\begin{aligned} V^{\gamma-1}T &= const \\ pV^{\gamma} &= const \\ p^{\gamma-1}T^{-\gamma} &= const \end{aligned} \tag{2.18}$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i} \tag{2.19}$$

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，对外作功。

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

$$\Delta W = W_1 + W_2 > 0 \tag{2.20}$$

闭合曲线包裹过程为净功。

热机效率：

$$\eta = \frac{\Delta W}{Q_{in}} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \tag{2.21}$$

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。

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}\ T_1 > T_2 \tag{2.22}$$

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：$dS = \frac{dQ}{T}$

$$S_B - S_A = \int_A^B \frac{dQ}{T} \tag{2.23}$$

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。

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

相长、相消：

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

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

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

暗纹条件

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

3.4.2 光程

真空光速：C

光在介质中的速度：$v = \frac{\mathrm{C}}{n}$

真空中：$\lambda_0 = \frac{\mathrm{C}}{\nu}$

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{\mathrm{C}}{n\nu} = \frac{\lambda_0}{n} \tag{3.5}$$

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

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

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

$r_2 = (r_1 - d) + nd$

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

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

明文暗纹：

$$\delta_r = \begin{cases} \mathrm{k}\lambda \ \ (k = 1, 2, 3 \dots) \\ \dfrac{2\mathrm{k} + 1}{2}\lambda \ \ (k = 0, 1, 2 \dots) \end{cases} \tag{3.7}$$

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

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

$$\delta = 2e + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & ,k = 1,2,3,\ldots \\ \frac{2k+1}{2}\lambda & ,k = 0,1,2,\ldots \end{cases} \tag{3.8}$$

$e = 0$ 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：

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

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：$e = k\frac{\lambda}{2n} \quad k = \underline{0}, 1, 2, 3, \ldots$
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：

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

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。

$$\delta = 2e + \frac{\lambda}{2} \tag{3.11}$$

$$r = \sqrt{2eR} = \sqrt{(\delta - \frac{\lambda}{2})R} = \begin{cases} \sqrt{(k - \frac{1}{2})R\lambda} & \text{明环半径} \\ \sqrt{kR\lambda} & \text{暗环半径} \end{cases} \tag{3.12}$$

牛顿环应用

测量透镜的曲率半径：

$$r_k^2 = kR\lambda r_{k+m}^2 = (k+m)R\lambda R = \frac{r_{k+m}^2 - r_k^2}{m\lambda} \tag{3.13}$$

工件标准件对比。

3.7 迈克耳孙干涉仪

$$\Delta d = \Delta k \frac{\lambda}{2} \tag{3.14}$$

在 M_2 反射镜的左侧插入介质后：

光程差变化：$\delta' = 2d + 2(n-1)t$。

介质片厚度：$t = \frac{\Delta k}{n-1} \cdot \frac{\lambda}{2}$

3.8 光的衍射

光在传播过程中碰到**尺寸比光的波长大得不多**的障碍物时，光会传播到障碍物的阴影区并形成明暗变化的光强分布的现象。

衍射后会形成明暗相间的图样，中央明纹最亮，两侧显著递减。

1. 单缝夫琅禾费衍射
2. 圆孔夫琅禾费衍射
3. 矩形孔夫琅禾费衍射
4. 长方孔夫琅禾费衍射

3.8.1 菲涅耳衍射

光源-障碍物-接收屏距离**有限远**。

3.8.2 夫琅禾费衍射

光源-障碍物-接收屏距离**无限远**。

明暗条件

衍射角θ：衍射光线与单缝平面法线间的夹角（边缘衍射光线穿过透镜中心），向上为$+$，反之为负，取值范围：$0 \to \frac{\pi}{2}$ 。

衍射角相同，汇聚在焦平面同一点，光强由这些平行光线干涉结果决定。

中央明条纹：$\theta = 0$。

边缘最大光程差：$\delta = a\sin\theta$。

半波带法

$$\begin{aligned} &a\sin\theta = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2} \quad (k=1,2,3,\dots) \text{ 剩余半个半波带发光} \\ &a\sin\theta = \pm 2k\cdot\frac{\lambda}{2} \qquad\quad (k=1,2,3,\dots) \text{ 两个半波带抵消，暗纹} \end{aligned} \tag{3.15}$$

与干涉明暗纹条件**相反**!

两个半波带光程差为$\frac{\lambda}{2}$，两条光线**干涉相消**。

中央明条纹角宽度和线宽度

中央明纹角宽度：

$$\Delta\varphi_0 = 2\varphi_1 \approx 2\frac{\lambda}{a} \tag{3.16}$$

中央明纹线宽度：

$$\Delta x_0 = 2f \cdot \tan\varphi_1 \approx 2f\varphi_1 = 2f\frac{\lambda}{a} \tag{3.17}$$

中央明纹宽度时其他两倍。

3.8.3 惠更斯-菲涅耳原理

惠更斯原理：波阵面上的每一点都可以看作发射子波的新波源，子波的包络面就是该时刻的波阵面。

子波的干涉

次级子波相干叠加。

3.9 光栅衍射

光栅：等宽等距的狭缝排列构成的光学元件。

光栅常数：$d = a + b = \frac{1}{N}$，量级为$10^{-5} \to 10^{-6}$m。