大物笔记

October 31, 2024

无 34 gx

1. 热学

1.1. 基础

- **平衡态**：热力学系统内部没有宏观的粒子和能量流动状态，系统各种宏观性质不随时间变化.
  - 应满足平衡条件：系统与外界达成**力学平衡、热平衡、相平衡**，内部达成**化学平衡**.
- 热力学系统的分类：

类型	功交换	热交换	粒子交换
孤立系统	×	×	×
绝热系统	√	×	×
封闭系统	√	√	×
开放系统	√	√	√

- 物态参量（态参量）：描述**平衡态**的宏观物理量, 如 p, V, T, S 等.
- **理想气体物态方程**

$$pV = \nu RT = \frac{m}{M}RT \Rightarrow p = nkT$$

  - M: 摩尔质量，n: 单位体积内粒子数，k: 玻尔兹曼常量.
- **准静态过程**：系统的每一状态都无限接近于平衡态的过程，即准静态过程是由一系列平衡态组成的过程.
  - 条件：$\Delta t_{\text{process}} \gg$ 弛豫时间 τ.

1.2. 微观层面——气体动理论

- **理想气体压强公式**：$p = \frac{1}{3}nm\overline{v^2} = \frac{2}{3}n\bar{\varepsilon}_t$.
  - 由此可知（单原子分子）平均动能 $\bar{\varepsilon}_t = \frac{3}{2}kT$, 均方根速率 $\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$.
- **能量均分定理**
  - 分子自由度（不考虑分子振动）

原子数	平动自由度 v	转动自由度 r	总自由度 i
单	3	0	**3**
双	3	2	**5**
多	3	3	**6**

  - 能量均分定理：每个自由度所对应的平均动能都等于 $\frac{1}{2}kT$.
  - 即 **刚性分子平均动能** $\bar{\varepsilon}_t = \frac{i}{2}kT$，**刚性分子理想气体内能** $E = N\bar{\varepsilon}_t = N\frac{i}{2}kT = \frac{i}{2}\nu RT$.
- **麦克斯韦速度分布律**
  - 麦克斯韦速率分布函数

$$\frac{\mathrm{d}N_v}{N} = f(v) = 4\pi v^2\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{mv^2}{2kT}}$$

- 最概然速率 $v_p=\sqrt{\frac{2kT}{m}}$, 平均速率 $\bar{v}=\sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$, 均方根速率 $v_{\text{rms}}=\sqrt{\frac{3kT}{m}}$, $v_p:\bar{v}:v_{\text{rms}}=\sqrt{2}:\sqrt{\frac{8}{\pi}}:\sqrt{3}$.
- 讨论速率分布使用 v_p, 计算分子平均动能使用 v_{rms}, 讨论分子碰撞使用 $\bar{v}$.
  - 分子碰壁数 $\Gamma=\frac{1}{4}n\bar{v}$
- 理想气体速度分函数（正态分布）

$$g(v)=\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{1}{2}}e^{-\frac{mv^2}{2kT}},$$

$$F(\vec{v})=g(v_x)\cdot g(v_y)\cdot g(v_z)=\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}}e^{-\frac{m\vec{v}^2}{2kT}}$$

- ***玻尔兹曼分布**
  设系统处于外势场中，每个分子的势能为 $\varepsilon_p=\varepsilon_p(\vec{r})$,则处于空间体积元 $\mathrm{d}^3\vec{r}=\mathrm{d}x\,\mathrm{d}y\,\mathrm{d}z$ 内的分子数为:

$$\mathrm{d}N_{\vec{r}}=n_0e^{-\frac{\varepsilon_p(r)}{kT}}\cdot\mathrm{d}^3\vec{r}.$$

  结合麦克斯韦分布律，有麦克斯韦—玻尔兹曼分布律:

$$\mathrm{d}N=n_0\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}}e^{-\frac{\varepsilon}{kT}}\cdot\mathrm{d}^3\vec{r}\cdot\mathrm{d}^3\vec{v},$$

  其中 $\varepsilon=\varepsilon_k+\varepsilon_p$ 为分子总能量.
- **分子平均自由程**
  - 平均碰撞频率 $\bar{z}=\sigma\bar{u}\cdot n=\pi d^2n\bar{u}$, 其中碰撞截面 $\sigma=\pi d^2$, 平均相对速度 $\bar{u}=\sqrt{2}\bar{v}$.
  - 平均自由程 $\bar{\lambda}=\frac{\bar{v}}{\bar{z}}=\frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2n}$.
    注意：实际平均自由程受容器线度 l 的限制，故 $\bar{\lambda}=\min\left(l,\frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2n}\right)$

1.3. 实际气体与非平衡态输运过程

- **范德瓦耳斯方程**:对单位mol的范氏气体:

$$\left(p+\frac{a}{V_m^2}\right)(V_m-b)=\nu RT,$$

  其中 b 是与分子体积有关的修正量, a 是与分子间引力作用有关的修正量.
- 范氏气体内能: $E_k=\frac{i}{2}\nu RT$, $E_p=\int_V^\infty-p_{\text{in}}\,\mathrm{d}V=-\nu^2\cdot\frac{a}{V}$.
- ***输运过程**：非平衡态下，热力学系统各部分性质不均匀, 导致 ε,p,m 的迁移.

热传导	温度 T 不均匀 $\to$ 能量 $\bar{\varepsilon}_q$ 的迁移	热导率 $\kappa=\frac{1}{3}\rho\bar{v}\bar{\lambda}c_V$
内摩擦	定向速度 u 不均匀 $\to$ 定向动量 p 的迁移	黏度 $\eta=\frac{1}{3}\rho\bar{v}\bar{\lambda}$
扩散	密度 ρ 不均匀 $\to$ 质量 m 的迁移	扩散系数 $D=\frac{1}{3}\bar{v}\bar{\lambda}$

  注意 κ 式中 $c_V=\frac{C_V}{Nm}$ 为定体比热.

1.4. 热力学第一定律

- 体积功 $\mathrm{d}A=p\,\mathrm{d}V$, $A=\int_{V_1}^{V_2}p\,\mathrm{d}V$.
- **热力学第一定律**：$Q=\Delta E+A$, $\text{đ}Q=\mathrm{d}E+\text{đ}A$.
- **摩尔热容量**：1mol 物质温度升高 1 度所吸热量, 与过程有关.
  - $\Delta E=\nu C_{V,m}\Delta T$, $C_{p,m}-C_{V,m}=R$ (迈耶公式).
  - $C_{V,m}=\frac{i}{2}R, C_{p,m}=\frac{i+2}{2}R$, **比热比** $\gamma=\frac{C_{p,m}}{C_{v,m}}=\frac{i+2}{i}$
- 绝热过程方程：$pV^\gamma=C$.

- 多方过程：$pV^n = C$, n 为多方指数, 过程满足 $A = \frac{p_1V_1 - p_2V_2}{n-1}, C_m = C_{V,m} - \frac{1}{n-1}R$.
- **热机**
  - 热循环：$p - V$ 图上顺时针，吸热 $>$ 放热，对外做功
    设吸收总热量为 Q_1, 放出总热量为 $|Q_2|$, 定义热循环效率 $\eta = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1}$.
  - 致冷循环：$p - V$ 图上顺时针，吸热 $>$ 放热，对外做功
    设放出总热量为 $|Q_1|$, 吸收总热量为 Q_2, 定义致冷系数 $w = \frac{Q_2}{|Q_1| - Q_2}$（可以大于 1！）.
  - 卡诺循环：工质只和两个恒温热源交换热量的无摩擦的准静态循环.
    (热机循环过程：T_1 等温膨胀 $\to$ 绝热膨胀 $\to$ T_2 等温压缩 $\to$ 绝热压缩)
    卡诺热机 $\eta_c = 1 - \frac{T_2}{T_1}$, 同理对卡诺制冷机有 $w_c = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$

1.5. 热力学第二定律

- **克劳修斯熵公式**：对**可逆**元过程, $\mathrm{d}S = \frac{\text{đ}Q}{T}, \Delta S = \int \frac{\text{đ}Q}{T}$.（不可逆则为 $>$ 号）
  - 结合热一律，进一步可得 $T\,\mathrm{d}S = \mathrm{d}E + \text{đ}A = \mathrm{d}E + p\,\mathrm{d}V$.
  - 可逆绝热过程 $\mathrm{d}S = 0$. 等温：$\Delta S = \frac{Q}{T}$, 等体：$\Delta S = cm\int_{T_1}^{T_2} \frac{\mathrm{d}T}{T}$.
- **理想气体熵公式**：对 1mol 理想气体, $S_m = C_{V,m} \ln \frac{T}{T_0} + R \ln \frac{V}{V_0} + S_0$.
- 熵增加原理：热力学系统经绝热过程熵不会减少，可逆绝热过程熵不变，不可逆过程熵增加.
  绝热系统或孤立系统由非平衡态向平衡态过渡时熵增加，最终的平衡态是熵最大的状态.
- **玻尔兹曼熵公式**：$S = k \ln \Omega$.（对于非平衡态也适用）
- $T - S$ 图：可方便表示热量, $Q = \int T\,\mathrm{d}S$.

2. 波动光学

2.1. 光的干涉

- 光强 $I \propto A^2$.
- **条纹衬比度** $V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \frac{2A_1A_2}{A_1^2 + A_2^2}$
- 双缝干涉**波程差** $\delta \approx d \sin\theta \approx d\frac{x}{L}$,
  相长条件 $\delta = k\lambda$, 相消条件 $\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$,
  条纹间距 Δx 满足 $\lambda L = d\Delta x$.
- **半波损失**：光从光疏介质射向光密介质，反射时相位发生 π 的偏移，即波程差加上或减去 $\frac{\lambda}{2}$.
- 时间相干性：设谱线宽度 Δx：
  最大相干级次 $k_M = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$, 相干长度 $\delta_M = k_M\lambda = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$, 相干时间 $\tau = \frac{\delta_M}{c}$.
- 薄膜干涉 条纹间距 $L = \frac{\lambda}{2n\theta}$.
- 牛顿环第 k 个暗环半径 r_k 满足 $r_k^2 = kR\lambda$.
- 等倾干涉：$\delta = 2ne\cos r$

2.2. 光的衍射

- **单缝夫琅禾费衍射**：光源和屏幕均处于无限远，可用透镜模拟
  - **半波带法**
    - 衍射角 $\theta = 0$ 时, $\delta = 0$, 形成中央明纹;
    - $a\sin\theta = \frac{k}{2}\lambda$ $(k \geq 2)$ 时，将缝分为 k 个半波带:
      - k 为偶数：k 个半波带相消，形成暗纹中心;
      - k 为奇数：$k - 1$ 个半波带相消，剩余 1 个半波带形成近似的明纹中心.
    - 得到主极大 $\theta = 0$, 次极小 $\sin\theta = \frac{k\lambda}{a}$, 近似次极大 $\sin\theta = \left(k + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{a}$.
    - 中央明纹宽度 $d \approx \frac{2k\lambda}{a}$.
  - 相量法得到光强公式 $I = I_0\left(\frac{\sin\alpha}{\alpha}\right)^2, \alpha = \frac{\pi a \sin\theta}{\lambda}$.
- **圆孔夫琅禾费衍射**：第一次极小 $\sin\theta = 1.22\frac{\lambda}{D}$.

- **瑞利判据**: 对两个等光强的非相干物点，如果它们的一个主极大中心恰与另一个主极大边缘（第一暗纹处）重合，则两物点刚可分辨.
  - 最小分辨角 $\delta\theta$ 为第一暗纹位置，定义分辨率 $R = \frac{1}{\delta\theta} = \frac{D}{1.22\lambda}$.
- **光栅衍射**
  - 透光部分宽度 a, 不透光部分宽度 b, 光栅常数$d = a + b$.
  - 由相量法得到 $I = I_0\left(\frac{\sin N\beta}{\sin\beta}\right)^2, \beta = \frac{\pi d \sin\theta}{\lambda}$, 考虑衍射，得到 $I = I_0\left(\frac{\sin\alpha}{\alpha}\right)^2\left(\frac{\sin N\beta}{\sin\beta}\right)^2$.
    - 主极大 $\sin\theta = k\frac{\lambda}{d}$, 次极小 $\sin\theta = \left(k + \frac{k'}{N}\right)\frac{\lambda}{d}$.
    - 主极大间距 $\frac{k}{d}$, 次极小间距 $\frac{1}{N}\frac{k}{d}$.
    - 两个主极大之间有 $N - 1$ 个次极小，$N - 2$ 个次极大（不关心）.
  - 斜入射方程：$d(\sin\theta - \sin i) = k\lambda$.
- **X 射线衍射**
  - 布拉格公式 $2d \cdot \sin\varphi = k\lambda$, 其中 φ 为掠射角.

3. 量子力学

3.1. 光的偏振

3.2. 这是什么

3.3. 我操真牛逼