气体动理论内容提要

一. 几个概念和物理量

1. 系统和外界:

2. 平衡态: 在不受外界影响的条件下, 一个系统的宏观性质不随时间改变的状态.

3. 如果系统 A 和系统 B 分别都与系统 C 处于热平衡, 那么 A 和 B 接触时,它们也必定处于热平衡.

1. 分子数密度 $n = \dfrac{N}{V}$

2. 分子质量 $m_0 = \dfrac{M}{N_A}$

3. 质量密度 $\rho = n m_0$

4. 物质的量 $\nu = m'/M$

二. 三个公式

1. 理想气体状态方程（平衡态）

$$\begin{cases} pV = \nu RT \\ P = nkT \\ \dfrac{PV}{T} = \nu R = const \end{cases}$$

2. 理想气体压强的微观公式 $P = \dfrac{2}{3} n \overline{\varepsilon_k}$

3. 温度的统计意义

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

三. 速率分布和麦克斯韦速率分布律

$$f(v)=\frac{\mathrm{d}N}{N\mathrm{d}v}$$ 物理意义！

- 三种统计速率

1. 最概然速率 $$v_p=\sqrt{\frac{2kT}{m_0}}=\sqrt{\frac{2RT}{M}}=1.41\sqrt{\frac{RT}{M}}$$

2. 平均速率 $$\bar{v}=\sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}}=\sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}=1.59\sqrt{\frac{RT}{M}}$$

3. 方均根速率 $$\sqrt{\overline{v^2}}=\sqrt{\frac{3kT}{m_0}}=\sqrt{\frac{3RT}{M}}=1.73\sqrt{\frac{RT}{M}}$$

四．能量均分定理

气体处于平衡态时，分子任何一个自由度的平均能量都相等，均为 $kT/2$.

刚性分子能量自由度

自由度 / 分子	t 平动	r 转动	i 总
单原子分子	3	0	3
双原子分子	3	2	5
多原子分子	3	3	6

➢ 理想气体的内能 $E=\dfrac{m'}{M}\dfrac{i}{2}RT=\nu\dfrac{i}{2}RT$

五. 平均碰撞频率和平均自由程

$$\overline{Z} = \sqrt{2} n \pi d^2 \overline{v}$$

$$\overline{\lambda} = \frac{\overline{v}}{\overline{Z}} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n}$$

$$\overline{\lambda} = \frac{kT}{\sqrt{2} \pi d^2 P}$$

若体积V不变，则平均自由程不变。

热力学基础内容提要

1. 准静态过程 从一个平衡态到另一平衡态所经过的每一中间状态均可近似当作平衡态的过程．准静态过程在 $p-V$ 图上可用一条曲线来表示

2. 准静态过程功的计算

（功是过程量）

$$W=\int_{V_1}^{V_2} p\mathrm{d}V=\pm\Delta S$$

3. 热量： 热量是高温物体向低温物体传递的能量.

（热量也是过程量）

➤**摩尔热容**：**1mol理想气体温度升高1度所吸收的热量.**

（与具体过程有关）

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

$$C_{V,m}=\frac{i}{2}R \qquad C_{p,m}=\frac{i+2}{2}R \qquad \gamma=\frac{C_{p,m}}{C_{V,m}}=\frac{i+2}{i}$$

4. 理想气体的内能：理想气体不考虑分子间的相互作用，其内能只是分子的无规则运动能量的总和，是温度的单值函数.

内能是**状态量**　$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{E}(\boldsymbol{T}) = \nu \dfrac{i}{2} RT$

- 理想气体内能变化与 $C_{\mathrm{V,m}}$ 的关系 $\mathrm{d}E = \nu C_{\mathrm{V,m}} \mathrm{d}T$

5. 热力学第一定律　系统从外界吸收的热量，一部分使系统的内能增加，另一部分使系统对外界做功.

$$\boldsymbol{Q = E_2 - E_1 + W}$$

- 对于无限小过程　$\mathbf{d}\boldsymbol{Q} = \mathbf{d}\boldsymbol{E} + \mathbf{d}\boldsymbol{W}$

（注意：各物理量符号的规定）

过程	等体	等压	等温	绝热
过程特点	$\mathrm{d}V=0$	$\mathrm{d}p=0$	$\mathrm{d}T=0$	$\mathrm{d}Q=0$
过程方程	$\frac{p}{T}=C$	$\frac{V}{T}=C$	$pV=C$	$PV^{\gamma}=C_1$ $V^{\gamma-1}T=C_2$ $P^{\gamma-1}T^{-\gamma}=C_3$
热一律	$\mathrm{d}Q_{\mathrm{v}}=\mathrm{d}E$	$\mathrm{d}Q_{\mathrm{p}}=\mathrm{d}E+p\mathrm{d}v$	$\mathrm{d}Q_{\mathrm{T}}=p\mathrm{d}v$	$\mathrm{d}E+p\mathrm{d}v=0$
热量 Q	$\nu C_{\mathrm{V,m}}(T_2-T_1)$	$\nu C_{\mathrm{p,m}}(T_2-T_1)$	$\nu RT\ln\frac{V_2}{V_1}$	0
功 W	0	$P(V_2-V_1)$	$\nu RT\ln\frac{V_2}{V_1}$	$-\nu C_{\mathrm{V,m}}(T_2-T_1)$ $\frac{P_1V_1-P_2V_2}{\gamma-1}$
内能变化	$\Delta E=E_2-E_1=\nu C_{\mathrm{V,m}}(T_2-T_1)$			
摩尔热容	$C_{\mathrm{V,m}}=\frac{i}{2}R$	$C_{\mathrm{P,m}}=\frac{i+2}{2}R$	∞	0

6. 循环: 系统经过一系列状态变化后，又回到原来的状态的过程叫循环. 可用 p—V 图上一条闭合曲线表示.

- **热机:** 顺时针方向进行的循环

热机效率 $\eta = \dfrac{W}{Q_1} = 1 - \dfrac{Q_2}{Q_1}$

- **卡诺循环:** 系统只和两个恒温热源进行热交换的准静态循环过程.

卡诺热机效率 $\eta = 1 - \dfrac{T_2}{T_1}$

7. 热力学第二定律

- 开尔文表述：不可能制造出这样一种循环工作的热机，它只使单一热源冷却来做功，而不放出热量给其他物体，或者说不使外界发生任何变化．
- 克劳修斯表述 不可能把热量从低温物体自动传到高温物体而不引起外界的变化．

8. 可逆过程与不可逆过程

在系统状态变化过程中，如果逆过程能重复正过程的每一状态， 而不引起其他变化， 这样的过程叫做可逆过程. 反之称为不可逆过程.

- 热力学第二定律的实质：自然界一切与热现象有关的实际宏观过程都是不可逆的．

9. 卡诺定理

1） 在相同高温热源和低温热源之间工作的任意工作物质的可逆机都具有相同的效率．

2） 工作在相同的高温热源和低温热源之间的一切不可逆机的效率都不可能大于可逆机的效率．

10. 熵

: ~~在可逆过程中，系统从状态A改变到状态B，其热温比的积分是一态函数熵的增量．~~

$$S_B - S_A = \int_A^B \frac{\mathrm{d}Q}{T} \quad 或 \quad \mathrm{d}s = \frac{\mathrm{d}Q}{T}$$

- **熵增原理：**孤立系统的熵永不减少 $\Delta S \geq 0$ ．

  孤立系统中的**可逆**过程，其熵不变；

  孤立系统中的**不**可逆过程，其熵要增加．

波动光学内容提要

一　相干光

1）相干条件：振动方向相同；频率相同；相位差恒定.

2）相干光的产生：分波面法；分振幅法.

二　杨氏双缝干涉实验

用分波面法产生两相干光. 干涉条纹是等间距的直条纹.

条纹间距：$\Delta x = \dfrac{D}{d}\lambda \qquad (\Delta k = 1)$

插入玻璃片：

未插入 $\delta = r_2 - r_1 = k\lambda$

S2插入玻璃片 $\delta = r_2 - e + ne - r_1 = k'\lambda$

$$\Delta\delta = ne - e = |\Delta k|\lambda$$

三 光程：媒质折射率与光的几何路程之积 = $\boxed{nr}$

1）相位差和光程差的关系

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda}\delta$$

光程差

光在真空中波长

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

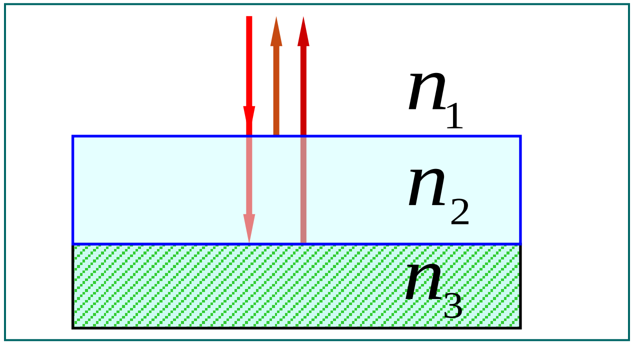
光在介质中波长

2） 透镜不引起附加的光程差

3）半波损失条件：光由光疏媒质射向光密媒质而在界面上反射时.

三　薄膜干涉

入射光在薄膜上表面由于反射和折射而“分振幅”，在上下表面反射的光为相干光.



◆ 当光线垂直入射时 $i = 0^\circ$

$n_1 > n_2 > n_3$ 或 $n_1 < n_2 < n_3$　　$\delta = 2dn_2$

$n_1 > n_2 < n_3$ 或 $n_1 < n_2 > n_3$　　$\delta = 2dn_2 + \lambda/2$

等厚干涉

1）干涉条纹为光程差相同的点的轨迹，即厚度相等的点的轨迹 $\Delta d = \lambda/2n$

2）厚度线性增长条纹等间距，厚度非线性增长条纹不等间距

3）条纹的动态变化分析（ n,λ,θ 变化时）

4）半波损失需具体问题具体分析

$$\Delta = 2nd + \boxed{\frac{\lambda}{2}} = \begin{cases} k\lambda, \quad k = 1,2,\cdots & \text{明纹} \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2}, \quad k = 0,1,\cdots & \text{暗纹} \end{cases}$$

- 劈尖条纹间距 $b = \dfrac{\lambda}{2n\theta} = \dfrac{\lambda}{2nD}L$

➢ 牛顿环 $\begin{cases} \text{明环半径 } r=\sqrt{(k-\frac{1}{2})R\lambda} & (k=1,2,3,\cdots) \\ \text{暗环半径 } r=\sqrt{kR\lambda} & (k=0,1,2,\cdots) \end{cases}$

四 迈克尔逊干涉仪

分振幅法薄膜干涉，精密测量仪器，精度：半个波长

可用移动反射镜或在光路中加入介质片的方法改变两光束的光程差.

移动反射镜 $\Delta d=\Delta k\frac{\lambda}{2}$

光路中加入介质片 $2(n-1)e=\Delta k\lambda$

一　惠更斯 — 菲涅尔原理

波阵面上各点都可以当作子波波源，其后波场中各点波的强度由各子波在该点的相干叠加决定.

二　夫琅禾费衍射

- 单缝衍射：可用半波带法分析，单色光垂直入射时

$$\begin{cases} a\sin\theta = 0 & \text{中央明纹中心} \quad (k=1,2,3,\cdots) \\ a\sin\theta = \pm 2k\dfrac{\lambda}{2} = \pm k\lambda & \text{暗纹中心} \quad \boxed{2k\text{个半波带}} \\ a\sin\theta = \pm(2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{明纹中心} \quad \boxed{2k+1\text{个半波带}} \end{cases}$$

$$\Delta\varphi_0 = 2\frac{\lambda}{a} \quad \Delta x_0 = 2f\frac{\lambda}{a} \quad \Delta\varphi = \frac{\lambda}{a} \quad \Delta x = f\frac{\lambda}{a}$$

二、三　圆孔衍射和光学仪器的分辨本领

~~圆孔衍射规律和瑞利判据，最小分辨角~~ $\theta_0 = 1.22\dfrac{\lambda}{D}$

~~光学仪器分辨率~~ $= \dfrac{1}{\theta_0} = \dfrac{D}{1.22\lambda} \propto D, \dfrac{1}{\lambda}$

- ~~圆孔衍射：单色光垂直入射时，中央亮斑的角半径~~ θ

  $\theta = 1.22\lambda / D$　　　　~~（**D** 为圆孔直径）~~

四　光栅衍射

光栅的衍射条纹是单缝衍射和多光束干涉的总效果.

$$d\sin\theta = k\lambda \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \cdots) \qquad d = a + b = \frac{1}{N}$$

- 谱线强度受单缝衍射影响可产生缺级现象.

缺级条件：

$$k = \frac{b+a}{a}k' = \frac{d}{a}k' \quad (k' = \pm 1, \pm 2, \cdots)$$

一 光的偏振

光波是横波，电场矢量表示光矢量，光矢量方向和光传播方向构成振动面.

三类偏振态：自然光、偏振光、部分偏振光.

二 线偏振光：可用偏振片产生和检验.

马吕斯定律 强度为 I_0 的线偏振光通过检偏器后，出射线偏振光的强度为

$$I = I_0 \cos^2 \alpha$$

三 光反射与折射时的偏振

布儒斯特定律：当入射角为布儒斯特角 i_0 时，反射光为线偏振光，且振动面垂直入射面，折射光为部分偏振光。

$$\tan i_0 = n_2 / n_1$$

狭义相对论内容提要

一　经典力学的相对性原理　经典力学的时空观

- 对于任何惯性参照系，牛顿力学的规律都具有相同的形式．
- 时间和空间的量度和参考系无关，长度和时间的测量是绝对的.

二　狭义相对论基本原理

- 爱因斯坦相对性原理：物理定律在所有的惯性系中都具有相同的表达形式．
- 光速不变原理：真空中的光速是常量，它与光源或观察者的运动无关，即不依赖于惯性系的选择.

三 洛伦兹坐标变换式

正变换

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - vt) \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \gamma(t - \dfrac{v}{c^2}x) \end{cases}$$

逆变换

$$\begin{cases} x = \gamma(x' + vt') \\ y = y' \\ z = z' \\ t = \gamma(t' + \dfrac{v}{c^2}x') \end{cases}$$

$$\beta = v/c \qquad \gamma = 1\Big/\sqrt{1-\beta^2}$$

$v << c$ 时，洛伦兹变换 $\Longrightarrow$ 伽利略变换。

四 狭义相对论时空观

- 同时的相对性

$$\begin{cases} \text{若} \quad \Delta t' = 0 \quad \Delta x' \neq 0 \quad \text{则} \quad \Delta t \neq 0 \\ \text{若} \quad \Delta t' = 0 \quad \Delta x' = 0 \quad \text{则} \quad \Delta t = 0 \end{cases}$$

此结果反之亦然．

- 时间延缓：运动的钟走得慢．

若$\Delta x' = 0$ $\quad \Delta t = \dfrac{\Delta t'}{\sqrt{1-\beta^2}} > \Delta t'$ 固有时间

- 长度收缩：运动物体在运动方向上长度收缩．

$l = l_0\sqrt{1-\beta^2} < l_0$ 固有长度

五 狭义相对论动力学的基础

- 质量与速度的关系

$$\boxed{m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}}$$

- 质量与能量的关系

$$\boxed{E = mc^2}$$

$$\boxed{mc^2 = m_0 c^2 + E_\mathrm{k}}$$

$$\boxed{E_\mathrm{k} = mc^2 - m_0 c^2}$$

量子物理基础内容提要

一　黑体辐射

（1）　普朗克量子化假设：谐振子能量是量子化的.

$$\varepsilon = nh\nu \quad (n = 1,2,3,\cdots)$$

- 普朗克常量　$h = 6.6260755\times10^{-34}\ \mathrm{J\cdot s}$

$$\boxed{\text{能量子}\quad \varepsilon = h\nu}$$

普朗克黑体辐射公式　$M_\nu(T)\mathrm{d}\nu = \dfrac{2\pi h}{c^2}\dfrac{\nu^3\mathrm{d}\nu}{\mathrm{e}^{h\nu/kT}-1}$

（2）　斯特藩 — 玻耳兹曼定律　　$M(T) = \sigma T^4$

斯特藩—玻耳兹曼常量　$\sigma = 5.670\times10^{-8}\ \mathrm{W\cdot m^{-2}\cdot K^{-4}}$

（3）　维恩位移定律　　$\lambda_{\mathrm{m}}T = b$

常量 $b = 2.898\times10^{-3}\ \mathrm{m\cdot K}$

二　光电效应　爱因斯坦方程

（1）光量子假设（光的波粒二象性）

- 光子的能量为　$\varepsilon = h\nu$
- 光子的动量　$p = h/\lambda$

（2）爱因斯坦方程　$$h\nu = \frac{1}{2}m\upsilon^2 + W$$

- 光电效应红限频率　$h\nu_0 = W$
- 截止电压　$eU_0 = \frac{1}{2}m\upsilon^2$

$$\lambda\nu = c$$

三 康普顿效应：光子和近自由电子碰撞

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

康普顿波长

$$\lambda_c = h/m_0 c = 2.43\times10^{-3}\,\mathrm{nm}$$

反冲电子动能 $\boxed{E_{\mathrm{k}} = mc^2 - m_0 c^2 = h\nu_0 - h\nu}$

四 德布罗意假设

- 实物粒子具有波粒二象性 $\lambda = \dfrac{h}{p}$ $E = h\nu$

一、 氢原子的玻尔理论

（1）玻尔的氢原子假设

- 定态假设
- 电子轨道角动量量子化假设

$$L = mvr = n\frac{h}{2\pi} \qquad (n = 1,2,3,\cdots)$$

- 跃迁的频率条件

$$\boxed{h\nu = E_i - E_f}$$

（2）氢原子能量

$$\boxed{E_n = \frac{E_1}{n^2}}$$

基态能量 $(n=1)$ $E_1 = -13.6\mathrm{eV}$

（3） 玻尔理论对氢原子光谱的解释

$$h\frac{c}{\lambda} = hcR\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right) = E_i - E_f$$

$$\sigma = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right), \quad n_i > n_f$$

- 里德伯常量 $R = 1.0973731 \times 10^7 \ \mathrm{m}^{-1}$

二 量子力学

（1）波函数的统计意义

$|\Psi|^2 = \psi\psi^*$ 表示在某处单位体积内粒子出现的概率.

◈ 某一时刻在整个空间内发现粒子的概率为

归一化条件 $\int |\Psi|^2 \mathrm{d}V = 1$ （束缚态）

（2）在势场中运动粒子的定态薛定谔方程

$$\nabla^2\psi + \frac{8\pi^2 m}{h^2}(E - E_\mathrm{p})\psi = 0$$

➢ 定态波函数性质

1）能量 E 不随时间变化；

2）概率密度 $|\psi|^2$ 不随时间变化 .

➢ 波函数的标准条件：单值的，有限的和连续的 .

三、一维无限深势阱 $E_{\mathrm{p}}=\begin{cases}0, & 0<x<a \\ E_{\mathrm{p}}\to\infty, & x\le 0, x\ge a\end{cases}$

- **波函数**

$$\psi(x)=\begin{cases}0, & (x\le 0, x\ge a) \\ \sqrt{\dfrac{2}{a}}\sin\dfrac{n\pi}{a}x, & (0<x<a)\end{cases}$$

- 概率密度

$$\left|\psi(x)\right|^2=\frac{2}{a}\sin^2\frac{n\pi}{a}x$$

- **能量** $E_n=n^2\dfrac{h^2}{8ma^2}$

- 量子数 $n=1,2,3,\cdots$