大学物理 C2: 复习与回顾

张桄玮

2023 年 11 月 19 日

1 热力学基础

1.1 温度. 平衡态. 理想气体状态方程

1. 描述气体的 3 个主要宏观状态参量

内容	单位	公式
体积 V	$\mathtt{m}^3$	
压强 p	Pa	$1\text{Pa}=1\text{N}\cdot\text{m}^2$
温度 T	K	$T=t+273$

2. 各种气体方程的定义

定律	描述	公式
Boyle 定律	温度不变时，p、V 的乘积是常数	$pV=C(t)$
Gay-Lussac 定律	压强不变时，V 随温度线性变化	$\frac{V}{T}=\frac{V_0}{T_0}$(开氏温标)
Charlies 定律	体积不变时，p 随温度线性变化	$\frac{p}{T}=\frac{p_0}{T_0}$(开氏温标)
阿伏伽德罗定律	相同温度和压强下，1mol 任何气体体积相等	

- 理想气体状态方程: $pV=\nu RT$. 其中 $R=8.31\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$.

3. $pV=\nu RT$ 的变形: $p=nkT, p=\frac{\rho}{M}RT$

- 其中, 玻耳兹曼常数 k 是 R/N_A. 分子数密度 n 为 n/V.
- 混合理想气体状态与单个一致.

1.2 热力学第一定律及其内容

一. 热力学第一定律

1. 若干物理量及其性质

<table>
<tr><th>物理量</th><th>描述</th><th>规定</th><th></th><th>性质</th></tr>
<tr><td>内能 E</td><td>状态量</td><td></td><td></td><td rowspan="6">相同的初态到末态, 经历不同的过程,$E_2 - E_1$ 总是不变,A,Q 随之改变.</td></tr>
<tr><td>功 A</td><td>过程量</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">热量 Q</td><td rowspan="4">过程量</td><td>正负</td><td>$Q > 0$ 是从外界吸收热量;</td></tr>
<tr><td rowspan="3">表达</td><td>定义热容: $C = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T}(\mathrm{JK}^{-1})$</td></tr>
<tr><td>规定单位量: 摩尔热容 C_m, 比热容 c</td></tr>
<tr><td>规定过程: $C_{V,m} = \frac{1}{\nu}\left(\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T}\right)_V, C_{p,m} = \frac{1}{\nu}\left(\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T}\right)_p$</td></tr>
</table>

2. 体积功: 一定质量气体的准静态膨胀体积 $V_1 \to V_2$, $A = \int_{V_1}^{V_2} p\mathrm{d}V$. A 的大小是 $p-V$ 图中曲线下方面积.

3. 热力学第一定律的不同表达形式

形式	宏观描述	微分形式
热一律	$Q = E_2 - E_1 + A$	$\mathrm{d}Q = \mathrm{d}E + \mathrm{d}A$
准静态过程	$Q = \Delta E + \int_{V_1}^{V_2} p\mathrm{d}V$	$\mathrm{d}Q = \mathrm{d}E + p\mathrm{d}V$
热容量恒定的准静态过程	$\nu C_m \Delta T = \Delta E + \int_{V_1}^{V_2} p\mathrm{d}V$	$\nu C_m \mathrm{d}T = \mathrm{d}E + p\mathrm{d}V$
理想气体的定容准静态过程	$Q = \Delta E = \nu C_{V,m}\Delta T$	$\mathrm{d}Q = \nu C_{V,m}\mathrm{d}T$
理想气体的定压准静态过程	$\nu C_{P,m}\Delta T = \nu C_{V,m}\Delta T + \int_{V_1}^{V_2} p\mathrm{d}V$	$\nu C_{p,m}\mathrm{d}T = \nu C_{V,m}\mathrm{d}T + p\mathrm{d}V$

理想气体

- 内能和热容: 理想气体 E 仅与 T 有关. 因此理想气体内能的改变有 $\mathrm{d}E = \nu C_{V,m}\mathrm{d}T, \Delta E = \nu C_{V,m}\Delta T$.
- 定容、定压摩尔热容
  - $C_{V,m} = \frac{i}{2}R, i = \begin{cases} 3 & \text{单原子分子} \\ 5 & \text{多原子分子} \\ 6 & \text{多原子分子} \end{cases}$
  - $C_{p,m} = C_{V,m} + R.$

二. 准静态过程

1. 基础准静态过程

	等容过程 $\mathrm{d}V=0$		等压过程 $\mathrm{d}p=0$		等温过程 $\mathrm{d}T=0$
过程方程	$V=C$	过程方程	$p=C$	过程方程	$pV=C$
A	0	A	$p(V_2-V_1)$	A	$\nu RT\ln\frac{V_2}{V_1}$
Q	$\nu C_{V,m}(T_2-T_1)$	Q	$\nu C_{p,m}(T_2-T_1)$	Q	
ΔE	$\nu C_{V,m}(T_2-T_1)$	ΔE	$\nu C_{V,m}(T_2-T_1)$	ΔE	0
热容	$C_{V,m}=iR/2$	热容	$C_{p,m}=(i+2)R/2$	热容	$C_{T,m}=\infty$

2. 绝热过程准静态过程

- 绝热过程方程: $pV^\gamma=C$.

  推导过程: 根据热一律 $\nu C_{V,m}\mathrm{d}T+p\mathrm{d}V=0$ 以及状态方程 $p\mathrm{d}V+V\mathrm{d}p=\nu R\mathrm{d}T$, 消去 $\mathrm{d}T$, 得到 $(C_{V,m}+R)p\mathrm{d}V+C_{V,m}V\mathrm{d}p=0$. 带入比热比为 $\gamma=\frac{C_{p,m}}{C_{V,m}}$ 得到 $\frac{\mathrm{d}p}{p}+\gamma\frac{\mathrm{d}V}{V}=0$, 即可得到.

- 绝热线比等温线更陡

- 绝热过程的功:

  - 使用绝热方程 $pV^\gamma=p_1V_1^\gamma=p_2V_2^\gamma$. 意味着 $A=\int_{V_1}^{V_2}p\mathrm{d}V=\int_{V_1}^{V_2}\frac{p_1V_1^\gamma}{V^\gamma}\mathrm{d}V=\frac{1}{\gamma-1}(p_1V_1-p_2V_2)$.
  - 使用热一律: $A=-\Delta E=-\nu C_{V,m}(T_2-T_1)$, 可以和上面有一样的效果.

- 绝热过程的热容: $C_{a,m}=\frac{1}{\nu}\left(\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T}\right)_a=0$.

2 气体动理论

2.1 气体分子热运动与统计规律. 理想气体的压强与温度.

1. 理想气体的压强. $p=\frac{1}{3}nm\overline{v^2}=\frac{2}{3}n\overline{\epsilon_t}$.

- 压强是统计量，大量分子统计平均。
- 压强公式建立起宏观量 p 与微观量 $\overline{\epsilon_t}$ 之间的联系
- $\overline{\epsilon_t}$ 是分子无规则热运动的平均平动动能. 不包括系统整体机械运动的动能.

2. 理想气体的温度. $p=\frac{2}{3}n\overline{\epsilon_t}=nkT\Rightarrow\overline{\epsilon_t}=\frac{3}{2}kT$.

- 温度是统计量
- 温度是分子平均平动能的量度

- 分子平均平动动能仅与温度有关, 与分子的质量 (种类) 无关。

练习 1. 试求 $t=0°\mathrm{C}$ 氮气分子的平均平动动能和方均根速率.

$$\overline{\epsilon_t}=\frac{3}{2}kT=\frac{1}{2}m\overline{v^2},\sqrt{\overline{v^2}}=\sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

练习 2. 容器内盛有一定质量的氧气，压强为 1atm, 温度为 27řC，求: 分子数密度，密度，分子间平均距离，分子的平均平动能，分子的方均根速率?

考虑使用 $pV=\nu RT$ 的变形 $p=nkT$ 以及 $\overline{\epsilon_t}=\frac{3}{2}kT=\frac{1}{2}m\overline{v^2}$.

2.2 麦克斯韦速率分布律. 能量按自由度均分理论

一. 麦克斯韦速率分布律

1. 速率分布函数: 总分子数为 N 的气体，温度为 T 的平衡态, $f(v)$: 速率分布在 v 所在单位速率区间的概率 (概率密度)

$$\lim_{\Delta v\to 0}\frac{\Delta N}{N\Delta v}=\frac{\mathrm{d}N}{N\mathrm{d}v}=:f(v)$$

- 满足性质: (归一化) $\int_0^\infty f(v)\mathrm{d}v=1$.

公式	区间	表达意义	特征
$f(v)\mathrm{d}v$	$v\sim v+\mathrm{d}v$	分子数比率	$\int_0^\infty f(v)\mathrm{d}v=1$
$Nf(v)\mathrm{d}v$		分子数	$\int_0^\infty Nf(v)\mathrm{d}v=N$
$nf(v)\mathrm{d}v$		单位体积分子数	$\int_0^\infty nf(v)\mathrm{d}v=n$

- $0\sim v_0$ 的平均速率

$$\overline{v}=\frac{\int_0^{v_0}v\mathrm{d}N}{\int_0^{v_0}\mathrm{d}N}$$

2. 三种统计速率

- 最概然速率: $v_p=\sqrt{\frac{2kT}{m}}$ 由于 $M=mN_A, R=N_Ak$ 得到 $v_p=\sqrt{\frac{2RT}{M}}\approx 1.41\sqrt{RT/M}$.
- 平均速率: (期望) $\int_0^{+\infty}vf(v)\mathrm{d}v=\sqrt{\frac{8}{\pi}\frac{kT}{m}}=\sqrt{\frac{8}{\pi}\frac{RT}{M}}\approx 1.60\sqrt{\frac{RT}{M}}$.
- 方均根速率 (二阶矩) $\int_0^\infty v^2f(v)\mathrm{d}v=\frac{3kT}{m}, v_{\mathrm{rms}}=\sqrt{\overline{v^2}}=\sqrt{\frac{3kT}{m}}=\sqrt{\frac{3RT}{M}}\approx 1.73\sqrt{\frac{RT}{M}}$.
- $v_p<\overline{v}<\sqrt{\overline{v^2}}$.

二. 能量按自由度均分定理

1. 自由度 i: 确定物体空间位置所需要的独立坐标数目.

类型	作用	个数
单原子分子	质点的平动 (3)	3
双原子分子	+ 键绕质心的转动 (2)	5
多原子分子	+ 绕定轴的转动 (1)	6

2. 能量均分定理: $\overline{v_x} = \overline{v_y} = \overline{v_z} = \frac{1}{3}\overline{v^2}$. 结合温度的统计表达, 得到在温度为 T 的平衡态下，气体分子**每个自由度**上的 平均动能都相等，且等于 $kT/2$。

- 一个气体分子的平均动能 = 平均平动功能 + 平均转动动能, $\bar{\epsilon} = \frac{i}{2}kT$.

3. 理想气体的内能:

- 只包括分子热运动的动能. $E = N\bar{\epsilon} = N\frac{i}{2}kT = \nu\frac{i}{2}RT$. $\Delta E = \nu\frac{i}{2}R\Delta T$.

4. 理想气体的热容: νmol 理想气体在等体过程中吸收的热量 $\mathrm{d}Q_V = \mathrm{d}E = \nu\frac{i}{2}R\mathrm{d}T$, 并有迈耶公式 $C_{p,m} = C_{V,m} + R$.

3 简谐振动

一. 运动学观点

1. 位移 $x(t) = A\cos(\omega t + \varphi)$.

- 振幅 A;
- 角频率 $\omega(\mathrm{rad/s})$, $T = \frac{2\pi}{\omega}(\mathrm{s})$, $f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}(\mathrm{Hz})$
- 相位

2. 速度, 加速度

$$
\begin{aligned}
v &= -\omega A\sin(\omega t + \varphi) && = \omega A\cos\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right)\text{超前}\frac{\pi}{2} \\
a &= -\omega^2 A\cos(\omega t + \varphi) = -\omega^2 x && = \omega^2 A\cos(\omega t + \varphi + \pi)\text{超前 }\pi
\end{aligned}
$$

3. 位相差: 同频率的谐振动, 相差就是初相差. $0 < \Delta\varphi < \pi$.

二. 表达方法: 旋转矢量

1. 描述: 长度为 A 的矢量，初位置与 x 轴正向夹角 φ 匀角速度 ω 逆时针旋转.

2. 合成.
三. 动力学观点
1. 弹簧振子: $F=-kx=ma=m\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}$, 运动学方程 $\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}+\frac{k}{m}x=0$

- a) 特点:
  - 方程的解就是运动方程
  - 角频率 $\omega=\sqrt{k/m}$
  - 根据初始条件 $x_0=A\cos\varphi, v_0=-A\omega\sin\varphi$ 决定 $A=\sqrt{x_0^2+\frac{v_0^2}{\omega^2}}$ 和 $\varphi=\arctan\left(-\frac{v_0}{\omega x_0}\right)$.
- b) 弹簧的串联和并联: $\omega_{串}=\sqrt{\frac{k_1k_2}{(k_1+k_2)m}}, \omega_{并}=\sqrt{\frac{k_1+k_2}{m}}$.

2. 其余情况: 化为 $\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}+?x=0$ 的形式, 那么 $\sqrt{?}$ 就是角速度.
四. 简谐运动的能量
1. 弹性势能: $E_p=\frac{1}{2}kx^2=\frac{1}{2}kA^2\cos^2(\omega t+\varphi)$,
2. 动能 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m\omega^2A^2\sin^2(\omega t+\varphi)$
3. 总能不变: $\boldsymbol{E}=\boldsymbol{E_k}+\boldsymbol{E_p}=\frac{1}{2}kA^2$.

五. 同方向同频率的简谐振动的合成
设质点在一条直线上同时参与两个独立的频率相同的简谐振动,

$$x_1=A_1\cos(\omega t+\varphi_1)$$
$$x_2=A_2\cos(\omega t+\varphi_2)$$

合振动: $A=\sqrt{A_1^2+A_2^2+2A_1A_2\cos(\varphi_2-\varphi_1)}$(余弦定理), $\tan\varphi=\frac{y_1+y_2}{x_1+x_2}=\frac{A_1\sin\varphi_1+A_2\sin\varphi_2}{A_1\cos\varphi_1+A_2\cos\varphi_2}$(旋转矢量)

4 波动学基础

一. 波动三要素

1. 波长 λ. 相邻两个同相点之间的距离
2. 周期 T. 振动的周期, 由波源决定
3. 波速 $u=\lambda/T$. 由媒质决定.

二. 平面简谐波的波函数
波函数: $y(x,t)$ 表示 t 时刻、x 位置处的质元关于平衡位置的位移.
1. 基础形式: 关键找到单位长度相差 $k:=\frac{2\pi}{\lambda}x$.

- 沿 x 正方向传播, 沿 x 方向相位处处落后. $y=A\cos\left(\omega-\frac{2\pi}{\lambda}x+\varphi_o\right)$
- 沿 x 负方向传播, 沿 x 方向相位处处超前. $y=A\cos\left(\omega+\frac{2\pi}{\lambda}x+\varphi_o\right)$

2. 三种不同的形式

- $y=A\cos\left[\omega\left(t\mp\frac{x}{u}\right)+\varphi_o\right]$
- $y=A\cos\left[2\pi\left(\frac{t}{T}\mp\frac{x}{\lambda}\right)+\varphi_o\right]$
- $y=A\cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(ut\mp x)+\varphi_o\right]$

三. 惠更斯原理

1. 折射定律: $\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{n_2}{n_1}$
2. 全反射临界角: $\sin i_0=n_{21}$.

四. 波的叠加

1. 在某位置 P 处的合振幅. $A=\sqrt{A_1^2+A_2^2+2A_1A_2\cos\Delta\varphi}$
2. 相位差:

$$\begin{aligned}\Delta\varphi&=(\omega t-kr_2+\varphi_{\mathrm{S}2})-(\omega t-kr_1+\varphi_{\mathrm{S}1})\\&=(\varphi_{\mathrm{S}2}-\varphi_{\mathrm{S}1})-\frac{2\pi}{\lambda}(r_2-r_1)\\&=\left\{\begin{array}{c}\pm2k\pi\ \text{干涉加强}A_{\mathrm{m}}\\ \\ \pm(2k+1)\pi\ \text{干涉减弱}\end{array}\right.\end{aligned}$$

3. 初相相同（同相）$\Delta\varphi=\frac{2\pi}{\lambda}(r_2-r_1)=\frac{2\pi}{\lambda}\delta$

$$\delta=\left\{\begin{array}{l}(r_2-r_1)=\pm k\lambda\ \text{时, 干涉加强}\\(r_2-r_1)=\pm\left(k+\frac{1}{2}\right)\lambda\ \text{时, 干涉减弱}\end{array}\right.\quad(k=0,1,2\cdots)$$

四. 反射波波函数

已知入射波沿 x 轴正方向 $y=A\cos(\omega t-kx+\varphi_0)$ 引起 P 点的振动 $y_p=A\cos(\omega t-ka+\varphi_0)$. 设反射波(沿 x 轴负方向)$y'=A\cos(\omega t+kx+\varphi_0')$ 引起 P 点的振动 $y_p'=A\cos(\omega t+ka+\varphi_0')$. 无能量损失，故振幅相同；同一介质中，故波长相同；需要确定 φ_0'.

- 波密 $\rightarrow$ 波疏, 没有半波损失, 同相, $\omega t+ka+\varphi'=\omega t-ka+\varphi$
- 波疏 $\rightarrow$ 波密, 有半波损失, 反相, $\omega t+ka+\varphi'=\omega t-ka+\varphi\pm\pi$.

5 光学

5.1 光的干涉

总体思路: 光程差 $\Longleftrightarrow$ 条纹间距 $\Longleftrightarrow$ 明纹/暗纹

一. 光程, 光程差

1. 定义. 折射率为 n 的介质中与路程差 d 对应的光程差 $\delta = nd$. 两点的位相差由光程差决定 $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\delta$.

平行光通过透镜汇聚在焦点，说明同相面上各点到焦点的路程不一，但是光程一致

二. 双缝干涉实验

1. 光程差: $\delta = r_2 - r_1 \begin{cases} = \pm k\lambda, k = 0,1,2\cdots \text{ 明纹中心} \\ = \pm(2k-1)\frac{\lambda}{2}, k = 1,2\cdots \text{ 暗纹中心} \end{cases}$

2. 条纹特点: 条纹级次正比于光程差.

- 条纹间距: $\Delta x = \frac{D}{d}\lambda$
- 各个级别纹中心: 近轴小角近似:$\delta = d\sin\theta \approx d\tan\theta = d\cdot\frac{x}{D}$
  - 明纹中心 $\delta = \pm k\lambda \to \sin\theta = \pm k\frac{\lambda}{d}$, $k = 0,1,2\cdots$, 得到 $x = \pm k\frac{D}{d}\lambda$
  - 暗纹中心 $\delta = \pm(2k-1)\frac{\lambda}{2} \to \sin\theta = \pm(2k-1)\frac{\lambda}{2d}$,$k = 1,2\cdots$, 得到 $x = \pm(k-\frac{1}{2})\frac{D}{d}\lambda$.

3. 光强分布

- 合振动的振幅: $E^2 = {E_1}^2 + {E_2}^2 + 2E_1E_2\cos\Delta\varphi$
- 光强: $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2}\cos\Delta\varphi$

三. 薄膜干涉

1. 半波损失发生的条件: n 小 $\to n$ 大.
2. 光程差:$\delta(e) = 2ne\left(+\frac{\lambda}{2}\right)$

- 明纹: $\delta(e) = k\lambda, k = 1,2,3,\cdots \Rightarrow e = \left(k-\frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{2\text{n}}$
- 暗纹: $\delta(e) = (2k+1)\frac{\lambda}{2}, k = 0,1,2,\cdots \Rightarrow e = \frac{k\lambda}{2n}$
- 条纹间厚度差: $\Delta e = \frac{\lambda}{2n}$
- 条纹间距: $L = \frac{\Delta e}{\theta} = \frac{\lambda}{2n\theta}$.
- 判断是否有半波损失: (1) 是否反射 (2) 是不是光疏 $\to$ 光密 (n 小到 n 大).

5.2 光的衍射

一. 单缝夫琅禾费衍射

1. 明纹/暗纹分布: 半波带法

$$\theta = 0, \delta = 0 \qquad \text{中央明纹}$$
$$a \sin\theta = \pm k\lambda, k = 1, 2, 3 \cdots \qquad \text{暗纹 (偶数个半波带)}$$
$$a \sin\theta = \pm (2k' + 1)\frac{\lambda}{2}, \quad k' = 1, 2, 3 \cdots \qquad \text{明纹 (中心, 奇数个半波带)}$$

级别越大, 明纹光强越小.

2. 衍射条纹宽度: $\Delta x_0 = f\Delta\theta_0 = 2f\frac{\lambda}{a}$.

二. 光栅衍射

1. 光栅常数: $d = a + b$, a 是透光（或反光）部分的宽度, b 是不透光 (或不反光) 部分的宽度.

2. 多缝干涉受到单缝衍射的调制

- 光栅方程: 干涉主极大条件 $d \sin\theta = \pm k\lambda, k = 0, 1, 2, \cdots$.
- 干涉主级大缺级级次: $k = \frac{d}{a}k', k' = 1, 2, 3, \cdots$
- 相邻主极大之间有多少暗纹, N 等于它加 1.

5.3 光的偏振

经过偏振片:

- 自然光 $I = \frac{1}{2}I_0$
- 线偏振光 $I = I_0 \cos^2\alpha$.

布儒斯特定律: 与法线夹角

$$\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

的时候反射为完全偏振光.

6 量子论

常见的常数: $h = 6.63 \times 10^{-34}\mathrm{J\cdot s}, 1\mathrm{eV} = 1.6 \times 10^{-19}\mathrm{J}, 1\mathrm{e} = 1.6 \times 10^{-19}\mathrm{C}$

6.1 早期量子论

1. 光电效应: $\epsilon = h\nu, \frac{1}{2}mv_m^2 = h\nu - A$.

- 实验规律:
  - 瞬时发生, 不需要时间积累
  - 频率不变, 饱和光电流 i_m 入射光的强度成正比
  - 电子具有一定的初动能.
    * 光电流 =0 时的反向电压: 截止电压
    * 入射光的强度无关
  - 不同的金属，都存在截止（红限）频率 ν_0.

2. 玻尔的氢原子理论

- 氢原子轨道半径 $r = 0.053$nm, 基态能量 $E = -13.6$eV.
- $E_n = -\frac{1}{n}|E_1|^2, r_n = n^2 r_1$.
- 三个谱系
  - Lyman 系: $k = 1$
  - Balmer 系: $k = 2$
  - Paschen 系: $k = 3$
- 跃迁时: $h\nu = E_n - E_k, n > k$.

3. 德布罗意波

- 实物粒子具有波动性: $\epsilon = mc^2 = h\nu$, $\overrightarrow{p} = m\overrightarrow{v} = \frac{h}{\nu}\overrightarrow{n}$.
- 求物质波的波长
  - 不考虑相对论效应 $p = m_0 v$
  - 考虑相对论效应 $E = E_0 + E_k, E = mc^2$, 当 $E_0 \sim E_k$ 的时候.
  - 考虑 $p^2c^2 + E_0^2 = E^2, p^2c^2 = E^2 - E_0^2 = (E - E_0)(E + E_0) = eU(eU + 2m_0c^2)$.
  - 极端相对论: $eU^2 = p^2c^2, p = \frac{eU}{c}, \lambda = \frac{hc}{eU}$.

4. 不确定性关系

- 叙述: $\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}, \Delta x = \frac{\hbar}{2\Delta p_x} = \frac{h}{4\pi\Delta p_x}$.

5. 波函数

- 波函数模的平方 $|\Psi(\overrightarrow{r},t)|^2$ 为 t 时刻, $\overrightarrow{r}$ 处单位体积发现一个粒子的概率.
- 满足的性质
  - 归一化: $\int_\Omega |\Psi(\overrightarrow{r},t)|^2 \mathrm{d}V = 1$.

6. 原子中的电子

- 三个量子数
  - 主量子数 $n = 1, 2, 3\cdots, E_n = -13.6\frac{1}{n^2}\mathrm{eV}$. n 相同组成壳层
  - 角量子数 $l = 0, 1, \cdots n-1$ 共 $n-1$ 个. $L = \sqrt{l(l+1)}\bar{h}$. l 相同组成支壳层.
  - 角动量空间取向量子化 $L_z = m_l h(m_l = 0, \pm 1, \cdots \pm l)$
  - 磁量子数 $S_z = \pm h/2$.