#### 原子物理学

- 第一章 原子的位形
  - 。 §3 卢瑟福散射公式
- 第二章 原子的量子态:玻尔模型
  - 。 §6 背景知识
  - 。 §7 玻尔模型
  - 。 §8 实验验证之一: 光谱
    - §10 玻尔模型的推广
- 第三章 量子力学导论
  - 。 §12 波粒二象性
  - §13 不确定性关系
  - 。 §14 波函数及其统计解释
  - 。 §15 薛定谔方程
- 第四章 原子的精细结构: 电子的自旋
  - 。 §18 原子中电子轨道运动的磁矩
  - 。 §19 施特恩-格拉赫实验
  - 。  $\S 20$  电子自旋的假设
  - 。 第五章 多电子原子: 泡利原理

## 第一章 原子的位形

### §3 卢瑟福散射公式

• 库仑散射公式:

$$b=rac{a}{2}\cotrac{ heta}{2}\quad a\equivrac{Z_1Z_2e^2}{4\piarepsilon_0E}$$

• 卢瑟福公式:

设一薄箔的面积为 A ,厚度为 t ,环的面积为  $2\pi b \cdot |\mathrm{d}b|$  ,粒子打在这个环上的概率为

$$\frac{2\pi b \cdot |\mathrm{d}b|}{A} = \frac{a^2 2\pi \sin \theta \mathrm{d}\theta}{16A \sin^4 \frac{\theta}{2}}$$

第二章 原子的量子态:玻尔模型

### §6 背景知识

• 爱因斯坦光电方程:

$$rac{1}{2}mv_m^2=h
u-\phi$$

• 光电效应实验遏止电压与最大动能的关系:

$$eV_0=rac{1}{2}mv_m^2$$

• 里德伯方程:

$$\sigma \equiv rac{1}{\lambda} \equiv R_H [rac{1}{n^2} - rac{1}{n'^2}] \equiv T(n) - T(n')$$

#### §7 玻尔模型

以氢原子为例

• 频率条件:

$$h
u = E_{n'} - E_n$$

↑与 §6.3比较得出:

$$E_n = -rac{Rhc}{n^2}$$

• 电子从定态 n' 跃迁到 n 时释放的能量,相应的波长为  $\lambda$  ,频率为  $\nu$  ,相应波数可表示为:

$$\sigma \equiv rac{1}{\lambda} = rac{1}{hc}(E_{n'} - E_n)$$

• 氢原子定态 n 电子轨道半径:

$$r_n = rac{4\piarepsilon_0\hbar^2}{m_e e^2}\cdot n^2$$

• 角动量量子化条件:

$$L = n\hbar, n = 1, 2, 3, \dots$$

• 精细结构常数:

$$lpha \equiv rac{e^2}{4\piarepsilon_0\hbar c} pprox rac{1}{137}$$

• 氢原子能量:

$$E_n=-rac{1}{2}m_e(lpha c)^2rac{1}{n^2}$$

• 电子在氢原子轨道中的速度:

$$v_n = rac{lpha c}{n}$$

## §8 实验验证之一:光谱

• 一质量为  $m_A$  的氢核相应的里德伯常量应写成:

$$R_A = Rrac{1}{1+rac{m_e}{m_A}}$$

• 类氢离子光谱的波数:

$$\left(rac{1}{\lambda}
ight)_A = R_A \left(rac{1}{n^2} - rac{1}{n'^2}
ight) Z^2$$

### §10 玻尔模型的推广

- 相对论修正
  - 。 物体在运动时, 其质量为

$$m=rac{m_0}{\sqrt{1-eta^2}},\quad eta\equivrac{
u}{c}$$

。 运动的物体动能为:

$$E_k = (m - m_0)c^2$$

。 三角关系:

$$E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4$$

• 类氢原子定态 n 电子轨道半径: (Z 为原子核带有的正电荷)

$$r_n = rac{4\piarepsilon_0\hbar^2}{m_e e^2}\cdotrac{n^2}{Z}$$

• 类氢原子能量:

$$E_n=-rac{1}{2}m_e(lpha cZ)^2rac{1}{n^2}$$

• 类电子在氢原子轨道中的速度:

$$v_n = rac{lpha c Z}{n}$$

# 第三章 量子力学导论

### §12 波粒二象性

• 光子的能量:

$$E = h\nu$$

• 光子的动量:

$$p=rac{h}{\lambda}$$
,或者  $p=\hbar k\ (k=2\pi/\lambda)$ 

• 德布罗意关系式:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

• 相对论中的质能关系式:

$$E = mc^2$$

• 当动能 $E_k\gg mc^2$  时,要用相对论公式:

$$E = E_k + mc^2$$

• 非相对论动能公式:

$$E_k = rac{p^2}{2m}$$

• 考虑一个微观粒子被关在一个宽度为 d 的匣子里作一维运动,永远存在,其德布罗意波长满足:

$$n\frac{\lambda}{2}=d$$
 , n=1,2,...

### §13 不确定性关系

• 不确定性关系:

$$egin{aligned} \Delta x \Delta p_x \geqslant rac{\hbar}{2} \ \Delta t \Delta E \geqslant rac{\hbar}{2} \end{aligned}$$

• 束缚粒子 (束缚在线速为 r 的范围内) 的最小平均动能:

$$E_k=rac{p_{rac{r}{2}rac{r}{2}}^2}{2m}=rac{3\hbar^2}{8mr^2}$$

• 谱线的自然宽度:

$$\Delta E \geqslant rac{\hbar}{2\Delta t}$$

#### §14 波函数及其统计解释

• 对于在 x 方向以恒定线动量运动的粒子, 其波函数为:

$$arPsi = arPsi_0 \sin 2\pi (rac{x}{\lambda} - 
u t) = arPsi_0 \mathrm{e}^{\mathrm{i}(ec{k}\cdotec{r} - \omega t)}$$

• 波函数满足的归一化条件:

$$\int_{V} |\varPsi|^2 dV = 1$$

### $\S15$ 薛定谔方程

## 第四章 原子的精细结构: 电子的自旋

### $\S18$ 原子中电子轨道运动的磁矩

• 磁矩 $\mu$  的数值表达式:

$$\mu_l = -\gamma L = -\sqrt{l(l+1)}\hbar\gamma = -\sqrt{l(l+1)}rac{e\hbar}{2m_e}$$

• 磁矩在 z 方向的投影  $\mu_{l,z}$  的表达式:

$$\mu_{l,z}=-\gamma L_z=-\gamma m_l \hbar=-rac{e\hbar}{2m_e}m_l$$

• 玻尔磁子  $\mu_B=rac{e\hbar}{2m_e}$ 

$$egin{aligned} \mu_l &= \sqrt{l(l+1)} \mu_B, & l &= 0,1,2,...,n \ \mu_{l,z} &= -m_l \mu_B, & m_l &= 0,\pm 1,\pm 2,...,\pm l \end{aligned}$$

#### §19 施特恩-格拉赫实验

• 粒子束经过磁场区,落到屏幕时偏离 x 轴的距离:

$$z = rac{\mu_z D d}{m v_0^2} \cdot rac{\partial B_z}{\partial z}$$

d:磁场区长度 D:磁场区中点到屏幕的长度

• 分子热运动:

$$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{3}{2}kT$$

### $\S 20$ 电子自旋的假设

• 电子自旋角动量:

$$|oldsymbol{S}| = \sqrt{s(s+1)}\hbar, \quad s = rac{1}{2}$$

。 在 *z* 方向的分量:

$$S_z=m_s\hbar, \quad m_s=\pmrac{1}{2}$$

• 电子轨道角动量:

$$|oldsymbol{L}|=\sqrt{l(l+1)}\hbar,\quad l=0,1,2,...,n$$

。 在 *z* 方向的分量:

$$L_z = m_l \hbar, \quad m_l = 0, \pm 1, ..., \pm l$$

• 电子总角动量 (l-s) 耦合) :

$$|J|=\sqrt{j(j+1)}\hbar,\quad j=|l-s|,...,|l+s|$$

。 在 *z* 方向的分量:

$$J_z=m_j\hbar,\quad m_j=-j,-j+1,...,j$$

• 朗德 g 因子:

$$g_{j} = rac{3}{2} + rac{1}{2} \left( rac{\hat{S}^{2} - \hat{L}^{2}}{\hat{J}^{2}} 
ight)$$

• 总角动量对应磁矩大小关系:

$$\frac{\mu_j}{J} = \mu_B \cdot g_j$$

第五章 多电子原子: 泡利原理