原子物理B复习

第一章 玻尔原子模型

1 原子的核式结构

定义$D=\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{zZe^2}{E}$，则$\cot\frac{\theta}{2}=\frac{2b}{D}$，且$d\sigma=\frac{D^2}{16}\frac{1}{\sin^4\frac{\theta}{2}}d\Omega$

射入厚度为t、单位体积有N个原子的金属内，射到$d\Omega$的概率为：$\frac{dA}{A}=Ntd\sigma$

粒子与原子核最近距离为$r_m=\frac{D}{2}\left(1+\frac{1}{\sin\frac{\theta}{2}}\right)$

2 原子光谱

氢原子光谱：$\upsilon=\frac{1}{\lambda}=R_h\left[\frac{1}{m^2}-\frac{1}{n^2}\right]$，$R_h=1.096\times10^7m^{-1}$

3 玻尔氢原子理论

玻尔假设：

- 原子存在一系列具有确定能量的稳定状态，称为定态。
- 当原子从一个定态跃迁到另一个定态时，原子的能量发生改变，这时原子才发射或吸收电磁辐射。
- 原子中电子的轨道角动量是量子化的，只能是$\hbar$的整数倍。

玻尔氢原子模型：

- $r_n=\frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{m_ee^2}\frac{n^2}{Z}=a_0\frac{n^2}{Z}$，$a_0=0.53\times10^{-10}m$
- $v_n=\frac{Z\alpha c}{n}$，$\alpha=\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c^2}=\frac{1}{137}$
- $E=-\frac{Z^2}{2n^2}m_ec^2\alpha^2$
- $R_\infty=\frac{\alpha^2m_ec^2}{2h}$

4 类氢原子

原子核质量影响：

- $r_n=\frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{\mu e^2}\frac{n^2}{Z}$
- $E=-\frac{Z^2}{2n^2}\mu c^2\alpha^2$
- $R_M=R_\infty\frac{1}{1+\frac{m_e}{M}}$

Z>1的影响：

- 计算波数时要取Z^2倍。
- 原子核质量的影响。

μ^-粒子的影响：

- $r_n=a_0\frac{n^2m_e}{Zm_\mu}$

5 弗兰克-赫兹实验

支持了能量量子化、定态、角动量量子化。

第二章 量子力学的初步介绍

1 波粒二象性

普朗克辐射公式：$u(v,t)=\frac{8\pi}{c^3}\frac{hv^3}{e^{hv/kT}-1}$

维恩位移定律：$\lambda_m T=b$

康普顿散射：$\Delta\lambda=\frac{h}{m_e c}(1-\cos\theta)$，$\theta$为光子散射角。

2 物质波的统计解释和海森伯不确定原理

波函数是单值、有限且连续的。

3 薛定谔方程

$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\psi=-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi+V\left(r,t\right)\psi$

$\left[-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2+V\left(r\right)\right]u\left(r\right)=Eu\left(r\right)$

4 力学量的平均值、算符表示和本征值

$\hat{p}=-ih\nabla$

如果波函数ψ同时是算符$\hat{\Omega}^{(1)}$和$\hat{\Omega}^{(2)}$的本征函数，那这两个物理量一定是可以同时有确定值，即可同时测定，记为$\left[\hat{\Omega}^{(1)},\hat{\Omega}^{(2)}\right]=0$，成为这两个算符对易。

5 定态薛定谔方程解的几个简例

阶跃势的透入距离：$\frac{1}{k_2}=\frac{\hbar}{\sqrt{2m(V_0-E)}}$

势垒的透入系数：$T\approx\frac{16E(V_0-E)}{V_0^2}e^{-\frac{2a}{\hbar}\sqrt{2m(V_0-E)}}$

一维谐振子势：$E_n=\left(\frac{1}{2}+n\right)\hbar\omega,\omega=\sqrt{\frac{k}{m}}$

第三章 单电子原子

1 氢原子的定态薛定谔方程解

a_0是氢原子基态的最概然半径。

$\overline{r}=\frac{1}{2}\left[2n^2-l\left(l+1\right)\right]\frac{a_0}{Z}$

$\overline{r^{-1}}=\frac{1}{n^2}\frac{Z}{a_0}$

原子波函数的空间对称性与l奇偶性相同。

2 量子数的物理解释

3 跃迁概率和选择定则

跃迁率：$\lambda_{if}=\frac{16\pi^3v^3}{3\epsilon_0hc^3}|p_{if}|^2$，平均寿命$\tau=\frac{1}{\lambda_{if}}$，普线宽度$\Delta\omega\approx\lambda_{if}$

选择定则：$\Delta m=0,\pm1,\Delta l=\pm1$

4 电子自旋

5 自旋和轨道相互作用

自旋-轨道耦合能：$\Delta E=-\mu_sB=\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Ze^2}{2m_e^2c^2r^3}\vec{s}\cdot\vec{l}$

轨道磁矩的大小：$\mu_l=g_l\frac{e\hbar}{2m_e}\sqrt{l\left(l+1\right)}=g_l\mu_B\sqrt{l\left(l+1\right)}$

塞曼效应：$h\Delta v=\Delta m\mu_BB$

电子自旋角动量：$s=\frac{1}{2}$，磁矩：$\overrightarrow{\mu_s}=-\frac{g_s\mu_B}{\hbar}\vec{s}$

总角动量：$\vec{j}=\vec{s}+\vec{l}$，且$\vec{j}^2=j\left(j+1\right)\hbar^2$

原子磁矩：$\vec{\mu}=\vec{\mu}_l+\vec{\mu}_s=-\frac{\mu_B}{\hbar}\left(g_l\vec{l}+g_s\vec{s}\right)$，且$\vec{\mu}_j=-g_j\frac{\mu_B}{\hbar}\vec{j}$

其中$g_j=1+\frac{j(j+1)+s(s+1)-l(l+1)}{2j(j+1)}$，且$\mu_{jz}=-gm_j\mu_B$

6 单电子原子能级的精细结构

相对论修正后的能级：$E_{n,j}=E_n\left[1-\frac{\alpha^2Z^2}{n^2}\left(\frac{3}{4}-\frac{n}{j+\frac{1}{2}}\right)\right]$

选择定则：$\Delta l=\pm1,\Delta j=0,\pm1$

第四章 氦原子和多原子电子

1 氦原子的能级

氦原子基态能量：$E_g=-74.8eV$

2 全同粒子与泡利不相容原理

泡利不相容原理：在多电子原子中，任何两个电子都不可能处在相同的量子态。

3 多原子电子的电子组态

$n_i=1,2,3,\ldots$

$l_i=0,1,2,\ldots,n_{i-1}$

$m_{l_i}=-l_i,-l_i+1,\ldots,l_i$

能量本征值对m_{l_i}简并。

4 原子的壳层结构和元素周期表

电子填充见高中化学

5 多电子原子的原子态和能级

LS耦合：$J=L+S,L+S-1,\ldots,|L-S|$

自旋—轨道相互作用能引起的能量变化：$\Delta E=\frac{1}{2}\zeta\left(L,S\right)\left[J\left(J+1\right)-L\left(L+1\right)-S\left(S+1\right)\right]\hbar^2$

同一多重态中相邻能级间隔：$E_{J+1}-E_J=\hbar^2\zeta\left(L,S\right)\left(J+1\right)$

等效电子组成的原子态数目：$G=2^v\prod\limits_{i=1}^{v}\left(2l_i+1\right)$，v是电子数。可以组成G个具有不同量子数$(L,S,J,M_J)$的态。

两个等效电子态允许的量子数要求$L+S$为偶数。

能量变化：$\Delta E=\left(\Delta M_L+2\Delta M_S\right)\mu_B B_0$，选择定则：$\Delta M_S=0,\Delta M_L=0,\pm1$

jj耦合：构成的量子数与LS耦合相同。

6 多电子原子的光谱

对J的选择定则：$\Delta J=0,\pm1;\Delta M_J=0,\pm1;\Delta j=0,\pm1$

碱金属原子分线系：

- 主线系，每条谱线由两条波长非常相近的谱线组成，间隔随波数增加而逐渐减小。
- 锐线系，也是两条精细结构，间隔固定。
- 漫线系，每条线三个精细结构，最外面同锐线系。
- 基线系，与漫线系类似。

碱土金属有两套主线系、锐线系、漫线系、基线系。

7 原子的内层能级和X射线

对同一元素，L系谱线频率比K线低。K线中K_α最强，波数最长。L也一样。

经验公式：$\tilde{v}_K=R(Z-1)^2\left(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{2^2}\right)$，且$\tilde{v}_L=R(Z-7.4)^2\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{3^2}\right)$，R是里德伯常量。