中国科学技术大学

2017—2018 学年第二学期考试试卷

考试科目＿＿原子物理学＿＿＿＿＿＿　得分＿＿＿＿＿＿

学生所在系＿＿＿＿＿＿　姓名＿＿＿＿＿＿　学号＿＿＿＿＿＿

答题要求：答案全部写在试卷上。如正面空间不够，可写在试卷背面。

物理学常数：

电子电荷 $e = 1.60\times10^{-19}$C,　电子质量 $m_e = 9.11\times10^{-31}$kg = 0.511MeV/c^2

Planck 常数 $h = 6.63\times10^{-34}$J·s,　真空光速 $c = 3.00\times10^{8}$m·s^{-1}

真空磁导率 $\mu_0=4\pi\times10^{-7}$N·A^{-2},　真空介电常数 $\varepsilon_0 = 8.85\times10^{-12}$C^2·J^{-1}·m^{-1}

Rydberg 常数 R_∞=10973731m^{-1},　原子质量单位 u=1.66×10^{-27}kg = 931MeV/c^2

玻尔半径 $a_1 = 0.529\times10^{-10}$m,　阿伏伽德罗常数 $N_A = 6.022\times10^{23}$mol^{-1}

玻尔兹曼常数 k =8.62×10^{-5}eV·K^{-1}　精细结构常数 $\alpha = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{\hbar c} = \frac{1}{137.036}$

Bohr 磁子 $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e}$=$0.927\times10^{-23}$J·T^{-1}=$5.788\times10^{-5}$eV·T^{-1}

组合常数：

$\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}$=1.44nm·eV，$m_ec^2$=0.511MeV，$hc$ = 1.24nm·keV

一．　选择题（每题 3 分，共 30 分，请将答案填入下表中）

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C	B	B	A	C	B	B	C	A	D

1．卢瑟福根据α粒子散射实验的结果提出了原子的核式结构模型，否定了“葡萄干布丁模型”，主要依据是

A．α粒子很容易穿透金属箔　　B．实验中应用了盖革计数器

C．只有集中在很小空间范围内的正电荷才能使α粒子产生大角散射

D．只有在金属箔中经过多次散射的α粒子才可能有大于 90°的散射角

2. 根据玻尔模型，氢原子中的核外电子在 n=2 的轨道时
A. 发出赖曼线　　B. 不发光　　C. 发出紫外光　　D. 发出H_α线

3. 根据玻尔模型，若记氦（He）的里的伯常数为R_A，则正一价氦离子（He^+）从第一激发态向基态跃迁，发出的光谱线的波长为
A. $\frac{4}{3R_A}$　　B. $\frac{1}{3R_A}$　　C. $\frac{1}{2R_A}$　　D. $\frac{1}{R_A}$

4. 根据玻尔模型，正三价锂离子的电子在$n=3$的轨道，其角动量为
A. $3\hbar$　　B. $\hbar$　　C. $\frac{\hbar}{3}$　　D. $\frac{\hbar}{9}$

5. 弗兰克-赫兹实验中，当加速电压为 4.9V 时，回路中的电流强度显著下降，这时若做光谱测量，能够测得光谱线的波长为
A. 184.9nm　　B. 120.9nm　　C. 253.7nm　　D. 108.6nm

6. 在斯特恩-格拉赫实验中，若使 1 束具有相同速度的基态的氦原子通过有梯度的磁场（原子速度方向与磁场梯度方向垂直），会发现通过磁场的原子
A. 均匀散开　　B. 仍为 1 束　　C. 分为 2 束　　D. 分为 3 束

7. Li（锂）原子能量最低的两个能级的原子态为
A. $^1S_0$，$^1P_1$　　B. $^2S_{1/2}$，$^2P_{1/2}$　　C. $^2S_{1/2}$，$^2P_{3/2}$　　D. $^1S_0$，$^3P_2$

8. Pb（铅）原子的 6p7s 电子组态按照 jj 耦合的方式所形成的原子态为
A. $(1,0)_{1,0}, (1,1)_{2,1}$　　B. $(0,1)_{\frac{1}{2}\frac{1}{2}}, (0,1)_{\frac{1}{2}\frac{3}{2}}$
C. $(\frac{1}{2},\frac{1}{2})_{1,0}$ ，$(\frac{1}{2},\frac{3}{2})_{2,1}$　　D. $(\frac{1}{2},\frac{1}{2})_{1}$ ，$(\frac{1}{2},\frac{3}{2})_{2}$

9. 氢原子电子的波函数为$\psi(r,\theta,\varphi)=\frac{1}{54\sqrt{\pi}}(\frac{1}{a_1})^{\frac{3}{2}}(\frac{r}{a_1})^2 e^{-\frac{r}{3a_1}}\sin^2\theta e^{i2\varphi}$，式中$a_1$为第一玻尔半径. 则该电子的轨道角动量在 z 方向的分量为
A. $2\hbar$　　B. $\sqrt{6}\hbar$　　C. $\hbar$　　D. $\sqrt{2}\hbar$

10. X 射线的线状谱（标识谱）产生的微观机制是
（A）原子中价电子被激发　　（B）原子中价电子被电离
（C）加速电子的韧致辐射　　（D）原子中内壳层电子被电离

二． 填空题（每空 3 分，共 24 分，请将答案直接填在本试卷中）

1. 基态碳原子，核外电子组态为 $1s^2s^22p^2$，其中的电子进行 LS 耦合，所能够形成的原子态用符号表示为 2^1S_0 ，$2^3P_{2,1,0}$ ，2^1D_2 ________.

2. 考虑能级的精细结构，氢原子的核外电子在$n=3$的壳层，所形成的原子态为 $3^2S_{1/2}$，$3^2P_{1/2}$，$3^2P_{3/2}$，$3^2D_{3/2}$，$3^2D_{5/2}$，________；在$n=2$的壳层，所形成的原子态为 $2^2S_{1/2}$，$2^2P_{1/2}$，$2^2P_{3/2}$ ______. 若不考虑兰姆移位，电子从$n=3$

的壳层向$n=2$的壳层跃迁，能够发出的波长不同的光谱线的数目为<u>5　　　　</u>.

3．电子自旋的朗德因子$g_s=$<u>　2　　　</u>，轨道的朗德因子$g_l=$<u>　1　　　</u>.
4．若 X 射线管的电压为 10kV，其所发出的 X 射线的短波限为<u>　0.124　　</u>nm，管中电子的 de Broglie（德布罗意）波长最短为<u>　0.0123　　　　　</u>nm.（不考虑相对论效应）

三、计算题（共 40 分）

1. （10 分）钋（Po）放射的一种α粒子的速度为 1.597×10^{7}m·s^{-1}，正面垂直射向厚度为 10^{-7}m 的金箔，试求所有散射角θ(60°~180°)的α粒子的百分比。已知金的密度为$\rho=19.32\times10^{3}$kg·m^{-3}，原子量为 A=197，原子序数 Z=79。(阿伏伽德罗常数为 6.02×10^{23})

$$\frac{dn}{n}=\left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\right)^2\left(\frac{zZe^2}{4E}\right)^2 Nt\,\frac{1}{\sin^4(\theta/2)}d\Omega$$

$$d\Omega=4\pi\sin(\theta/2)\cos(\theta/2)d\theta$$

$$Nt=\frac{\rho N_A}{A}t=5.9\times10^{21}m^{-2}$$

$$E=\frac{1}{2}mv^2=8.467\times10^{-13}J$$

$$P=\left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\right)^2\left(\frac{zZe^2}{4E}\right)^2 Nt\,4\pi\int_{\pi/3}^{\pi}\frac{1}{\sin^3(\theta/2)}\cos(\theta/2)d\theta$$
$$=5.153\times10^{-5}$$

2.（10 分）某粒子的波函数为$\Psi=N\exp[-\frac{|x|}{2a}-\frac{|y|}{2b}-\frac{|z|}{2c}]$，求：

1) 归一化因子 N；

2) 粒子的x坐标在$(0,a)$间的几率；

3) 粒子的 y 坐标在 $(-b,b)$，同时 z 坐标在 $(-c,c)$ 范围的几率。

1）

2）

3）

3.（8 分）分别以 LS 耦合和 jj 耦合写出 2p 和 3d 电子的合成状态，并证明他们具有相同的状态数。

$n_1=2\ \ l_1=1\ \ s_1=1/2 \qquad n_2=3\ \ l_2=2\ \ s_2=1/2$

LS耦合 $\quad S=\vec{s}_1+\vec{s}_2=1,0 \qquad L=\vec{l}_1+\vec{l}_2=3,2,1$

每一个L和每一个S都形成一个J

L=1　S=0　⇒　J=1　⇒　(1,0)1

L=1　S=1　⇒　J=2,1,0　⇒ (1,1)2,1,0

L=2　S=0　⇒　J=2　⇒ (2,0)2

L=2　S=1　⇒　J=3,2,1　⇒ (2,1)3,2,1

L=3　S=0　⇒　J=3　⇒ (3,0)3

L=3　S=1　⇒　J=4,3,2　⇒ (3,1)4,3,2

$$1=N^2\int^{+\infty}\exp[-\frac{|x|}{a}-\frac{|y|}{b}-\frac{|z|}{c}]dxdydz \Rightarrow N=\sqrt{\frac{1}{8abc}}$$

共有 12 种状态

$$P=N^2\int_0^a\exp[-\frac{|x|}{a}]dx\int_{-\infty}^{+\infty}\exp[-\frac{|y|}{b}-\frac{|z|}{c}]dydz$$

JJ 耦合

$$=\frac{e-1}{2e}=0.316$$

$$P=N^2\int_{-\infty}^{+\infty}\exp[-\frac{|x|}{a}]da\int_{-b}^{b}\exp[-\frac{|y|}{b}]dy\int_{-c}^{c}\exp[-\frac{|z|}{c}]dz$$

$$=(\frac{e-1}{e})^2=0.400$$

$l_1 = 1 \quad s_1 = 1/2 \qquad j_1 = l_1 + s, l_1 - s = 1/2, 3/2$

$l_2 = 2 \quad s_2 = 1/2 \qquad j_2 = l_2 + s, l_2 - s = 3/2, 5/2$

jj耦合所形成的原子态的共有12种：

$$j_1 = 3/2 \quad j_2 = 5/2 \quad \Rightarrow \quad J = 4,3,2,1 \quad \Rightarrow \quad (\frac{3}{2},\frac{5}{2})_{4,3,2,1}$$

$$j_1 = 3/2 \quad j_2 = 3/2 \quad \Rightarrow \quad J = 3,2,1,0 \quad \Rightarrow \quad (\frac{3}{2},\frac{3}{2})_{3,2,1,0}$$

$$j_1 = 1/2 \quad j_2 = 5/2 \quad \Rightarrow \quad J = 3,2 \quad \Rightarrow \quad (\frac{1}{2},\frac{5}{2})_{3,2}$$

$$j_1 = 1/2 \quad j_2 = 3/2 \quad \Rightarrow \quad J = 2,1 \quad \Rightarrow \quad (\frac{1}{2},\frac{3}{2})_{2,1}$$

4.（12 分）考虑氢原子基态和 n=2 的激发态：

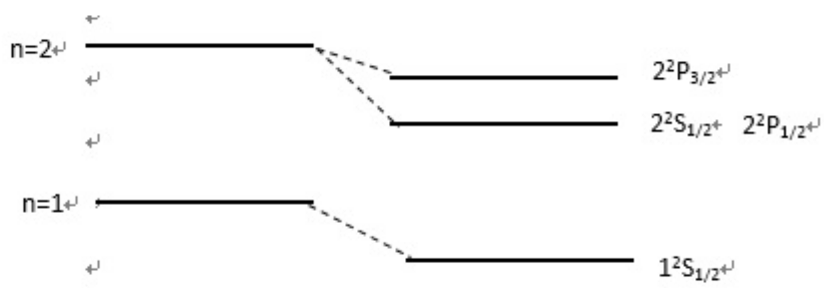
1) 不考虑精细结构，画出他们的能级图；

2) 考虑相对论效应后，画出新能级且表明其光谱符号；

3）计算相对论修正引起的能级移动和双层能级间隔

4) 考虑兰姆位移后对能级会有哪些影响？

1),2)



(3) 能级移动：$n=2$ ，

$$\Delta E_n = -\frac{\alpha^2 Z^2}{n^2} E_n (\frac{3}{4} - \frac{n}{j+1/2})$$

n=2, j=3/2: $\Delta E'_{2,1} = -1.13\times10^{-5} eV$

n=2, j=1/2: $\Delta E'_{2,0} = -5.66\times10^{-5} eV$

n=1, j=1/2: $\Delta E'_{1,0} = -1.81\times10^{-4} eV$

双层能级（$^2P_{3/2}$，$^2P_{1/2}$ ）之间的间隔为 4.5×10^{-5} eV；.

(4) 考虑到兰姆移位后, $^2S_{1/2}$ 的能级要比 $2^2P_{1/2}$ 的能级高。

四、简答题（6 分）

1、(3 分）为什么卢瑟福散射公式在小角度处与实验结果有较大偏离。

原因一：小角散射对应于较大的瞄准距离 b

原因二：靶原子之间不再互不遮蔽，小角度散射必定是多次散射的结果

2、(3 分）什么叫空间量子化？为什么说施特恩—格拉赫实验证明了原子具有空间量子化？

答：空间量子化是指电子在原子内部，分布在某些特定的不连续的能级上。电子只会在这些能级之间跃迁，而不会出现在别的地方。

斯特恩-盖拉赫实验结果是分离的，这证明了轨道磁矩只能取到几个分立的值，从而说明了

原子的磁矩在磁场中只能有几个离散的不连续的取向，证实了空间量子化。