

中国科学技术大学  
\*\*\*\*\*学年第二学期考试试卷

课程名称: \_\_\_\_\_ 课程代码: \_\_\_\_\_  
 开课院系: \_\_\_\_\_ 考试形式: \_\_\_\_\_  
 姓名: \_\_\_\_\_ 学号: \_\_\_\_\_ 专业: \_\_\_\_\_

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

- 卢瑟福根据  $\alpha$  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.  $\alpha$  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  $\alpha$  粒子产生大角散射  
 D. 只有在金属箔中经过多次散射的  $\alpha$  粒子才可能有大于  $90^\circ$  的散射角
- 根据玻尔模型，若记氦 (He) 的里德伯常数为  $R_A$ ，则正一价氦离子 ( $\text{He}^+$ ) 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.  $\frac{1}{R_A}$
- 根据玻尔模型，正二价锂离子的电子在  $n = 3$  的轨道，其角动量为  
 A.  $3\hbar$       B.  $\hbar$       C.  $\frac{\hbar}{3}$       D.  $\frac{\hbar}{9}$
- 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
- 在斯特恩-格拉赫实验中，若使 1 束具有相同速度的基态的氢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
- 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.  $^1S_0, ^3P_2$
- Ba (钡) 原子的 6s6p 电子组态按照 LS 耦合的方式形成原子态，其能量从低到高的次序为  
 A.  $^1P_1, ^3P_0, ^3P_1, ^3P_2$       B.  $^3P_0, ^3P_1, ^3P_2, ^1P_1$   
 C.  $^3P_2, ^3P_1, ^3P_0, ^1P_1$       D.  $^1P_1, ^3P_2, ^3P_1, ^3P_0$

8. 氢原子电子的波函数为  $\psi(r, \theta, \varphi) = \frac{1}{54\sqrt{\pi}} \left(\frac{1}{a_1}\right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{r}{a_1}\right)^2 e^{-\frac{r}{3a_1}} \sin^2 \theta e^{i2\varphi}$ , 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.  $2h$                       B.  $\sqrt{6}h$                       C.  $h$                       D.  $\sqrt{2}h$
9. 基态 Ca (钙) 原子核外电子组态为  $[\text{Ar}]4s^2$ , 其中的 1 个  $4s$  可被激发到  $4p$ 、 $3d$ 、 $5s$  等轨道, 从而形成单重态和三重态. 若 Ca 的某一个三重态能级比基态能级分别高  $20335.4\text{cm}^{-1}$ ,  $20349.3\text{cm}^{-1}$ ,  $20371.0\text{cm}^{-1}$ , 则形成该三重态的电子组态为  
 A.  $4s^2$                       B.  $4s4p$                       C.  $4s3d$                       D.  $4s5s$
10. Zn (锌) 原子的电子组态从  $4s4d$  跃迁到  $4s4p$ , 发出的波长不同的光谱线的数目为  
 A. 6                      B. 7                      C. 8                      D. 9

## 二、填空题 (每空 3 分, 共 30 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  $1s^2 2s^2 2p^2$ , 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. 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\_\_\_\_\_; 在  $n = 2$  的壳层, 所形成的原子态为\_\_\_\_\_. 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\_\_\_\_\_.
3. 电子自旋的朗德因子  $g_s =$ \_\_\_\_\_, 轨道的朗德因子  $g_l =$ \_\_\_\_\_.
4. 若阴极射线管的电压为  $10\text{kV}$ , 管中电子的 de Broglie (德布罗意) 波长最短为\_\_\_\_\_nm; 若电子撞击阳极的瞬间, 将其动能全部转化为电磁辐射, 则所发出的电磁波最短波长为\_\_\_\_\_nm. (不考虑相对论效应)
5. 黑体在加热过程中, 其辐射本领最大的波长, 由  $0.60\mu\text{m}$  变成了  $0.40\mu\text{m}$ . 则总辐射本领增加了\_\_\_\_\_倍.
6. 波长为  $2000\text{\AA}$  的光照在铝表面上. 已知铝的脱出功为  $4.2\text{eV}$ , 则光电效应的遏止电压为\_\_\_\_\_.

三、(10%) 自旋轨道耦合能

$$\hat{W} = -\hat{\mu}_s \cdot \hat{B} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{2m_e^2 c^2 r^3} \hat{s} \cdot \hat{L}$$

计算力学量 $\hat{W}$ 与总角动量算符 $\hat{J}_k$ 以及轨道角动量算符 $\hat{L}_k$ 的对易子,

$$[\hat{J}_k, \hat{W}] = ?$$

$$[\hat{L}_k, \hat{W}] = ?$$

装订线 答题时不要超过此线

四、(10%) 考虑宽度为  $a$  的一维无限深势阱

$$V(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } |x| < \frac{a}{2}; \\ +\infty, & \text{if } |x| \geq \frac{a}{2}. \end{cases}$$

$t = 0$  时在  $x = 0$  处释放一个点粒子.

- (1) 求粒子处于第二激发态和基态的几率之比.
- (2) 这个比值是否会随时间改变?

五、(10%) 钠原子  $3^2P_{1/2} \rightarrow 3^2S_{1/2}$  跃迁的光谱线波长为  $589.6\text{nm}$ , 在  $B = 2.5\text{T}$  的磁场中发生塞曼分裂. 问从垂直于磁场的方向观察, 其分裂为多少条谱线, 并给出各谱线波长.

六、(10%) 能量为  $0.41\text{MeV}$  的 X 射线光子, 与静止的自由电子碰撞, 反冲电子的速度为光速的  $0.6$  倍. 求散射光的波长以及散射角.

### 可能会用到的公式及物理常数

光速  $c = 2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$  Planck 常数  $h = 6.626069 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

$\hbar = h/2\pi = 1.0545716 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 6.58212 \times 10^{-22} \text{ MeV} \cdot \text{s}$

$\hbar c = 197.3 \text{ MeV} \cdot \text{fm}$   $hc = 1.24 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{eV}$

真空磁导率  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2}$  真空介电常数  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{J}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$

阿伏伽德罗常数  $N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  玻尔兹曼常数  $k = 8.62 \times 10^{-5} \text{ eV} \cdot \text{K}^{-1}$

电荷单位  $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$  原子单位  $1u = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931.5 \text{ MeV}/c^2$

电子质量  $m_e = 0.511 \text{ MeV}/c^2 = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$

电子的经典半径  $r_e = e^2/(4\pi\epsilon_0 m_e c^2) = 2.818 \times 10^{-15} \text{ m}$

精细结构常数  $\alpha = e^2/(4\pi\epsilon_0 \hbar c) \approx 1/137.036$

Stefan-Boltzmann 常数  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$

Wien 位移定律常数  $b = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$

类氢原子能级的精细结构修正  $\Delta E_{nj} = E_n \frac{\alpha^2 Z^2}{n^2} \left( \frac{n}{j+1/2} - \frac{3}{4} \right)$

物质波 de Broglie 关系  $E = h\nu$ ,  $\vec{p} = \hbar \vec{k}$ ,  $p = h/\lambda$

Einstein 质能关系  $E = mc^2$ ,  $E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4$

轨道角动量算符

$$\hat{L} = -i\hbar \vec{r} \times \nabla, \quad \hat{L}^2 = -\hbar^2 \left\{ \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right\}$$

薛定谔方程  $i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi = \hat{H} \psi$

单粒子定态薛定谔方程  $\left( -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(\vec{r}) \right) u(\vec{r}) = E u(\vec{r})$

力学量随时间的演化  $\frac{d\hat{A}(t)}{dt} = \frac{\partial \hat{A}(t)}{\partial t} + \frac{1}{i\hbar} [\hat{A}(t), \hat{H}]$

测不准关系  $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar/2$

Bohr 半径  $a_\infty = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2} = r_e \alpha^{-2} = 0.529 \times 10^{-10} \text{ m}$

Bohr 磁子  $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} = 0.927 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{T}^{-1} = 5.788 \times 10^{-5} \text{ eV} \cdot \text{T}^{-1}$

Rydberg 能量  $hcR_\infty = m_e c^2 \alpha^2 / 2 = 13.6 \text{ eV}$

Rydberg 常数  $R_\infty = 1.0973731534(13) \times 10^7 \text{ m}^{-1}$

单光子跃迁选择定则  $\Delta l_i = \pm 1$ ,  $\Delta m_i = 0, \pm 1$ ,  $\Delta l_{j \neq i} = 0$

多电子原子 LS 耦合跃迁选择定则

$$\Delta S = 0; \Delta L = 0, \pm 1; \Delta J = 0, \pm 1 (J = 0 \rightarrow J = 0 \text{ 除外}); \Delta M_J = 0, \pm 1$$

朗德间隔定则  $E_{J+1} - E_J = \hbar^2 \zeta(L, S)(J+1)$

塞曼效应能级修正  $E_{mag}^{(1)} = g_J \mu_B B_0 M_J$ ,  $g = 1 + (g_s - 1) \frac{J(J+1) - L(L+1) + S(S+1)}{2J(J+1)}$