

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

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, 若记氦 (He) 的里德伯常数为 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. $\frac{1}{R_A}$

3. 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. $\frac{\hbar}{9}$

4. 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

5. 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

6. 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. $^1S_0, ^3P_2$

7. 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 20335.4cm^{-1} , 20349.3cm^{-1} , 20371.0cm^{-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 10kV , 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\AA 的光照在铝表面上. 已知铝的脱出功为 4.2eV , 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,

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

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

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 589.6nm , 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.

装订线 答题时不要超过此线

六、(10%) 能量为 0.41MeV 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 $1\text{u} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931.5 \text{ MeV}/c^2$

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 $E_{mag}^{(1)} = g_J \mu_B B_0 M_J$, $g = 1 + (g_s - 1) \frac{J(J+1) - L(L+1) + S(S+1)}{2J(J+1)}$