

原子物理 期末试题

(物理学院 本科 2010 级用, 试题共 3 页。时间 2.5 小时。卷面共计 100 分。)

姓名

学号

班级

一、填空。答案按序写在答题纸上, 答案字数与空格长度无关 (每空 1 分, 共 20 分)

- 1 用动能为 E 的 α 粒子轰击 位置固定的 $^{92}\text{Zr}_{52}$ 原子核, 则二者之间可达到的最短距离 $a = \underline{\hspace{2cm}}$; 若 E 过大致使 a 小于核半径, 则可能会导致 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。
- 2 若 Li^{2+} 的某状态可通过释放 108.8 eV 的能量而回到 Li^{2+} 的基态。则该状态的结合能为 $\underline{\hspace{2cm}} \text{ eV}$ 、玻尔半径为 $\underline{\hspace{2cm}} \text{ \AA}$ 。
- 3 原子光谱 $\underline{\hspace{2cm}}$ 特征和 1914 年 $\underline{\hspace{2cm}}$ 实验都说明了原子能级的存在。
- 4 本课程中所学到的 $\underline{\hspace{2cm}}$ 、 $\underline{\hspace{2cm}}$ 、 $\underline{\hspace{2cm}}$ 都说明电子自旋的存在。
- 5 氢原子的 $n=4$ 玻尔能级 在考虑精细结构后 将分裂为 $\underline{\hspace{2cm}}$ 个能级, 其中有 $\underline{\hspace{2cm}}$ 对 能级是简并的。(不考虑兰姆移动)
- 6 相同波长的入射光子与质子、电子分别发生康普顿效应。在相同的散射角上, 入射光子与 $\underline{\hspace{2cm}}$ 发生康普顿效应时, 散射光子的波长更长。
- 7 根据量子力学, 氢原子基态时的电子云呈现 $\underline{\hspace{2cm}}$ 形状。
- 8 自由粒子波函数 $\Psi = \Psi_0 \exp[\frac{i}{\hbar}(\vec{p} \cdot \vec{r} - Et)]$ 。能量 E 对应的算符为 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。
- 9 根据玻恩对波函数的统计解释, $\Psi\Psi^*$ 代表 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。
- 10 p 电子发生 jj 耦合, 生成的原子态中, J 值最大的原子态为 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。
- 11 只考虑基态, 随原子序数增加, 当 $Z = \underline{\hspace{2cm}}$ 时, $3d$ 支壳层首次被电子占据; 当 $Z = \underline{\hspace{2cm}}$ 时, $3d$ 支壳层被首次占满。
- 12 质量为 m 的微粒被限制在线度为 L 的一维盒中, 则利用海森堡不确定关系可知其动能最小值约为 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。
- 13 只考虑 1 个价电子的激发, 碱金属原子朗德 g 因子的最小值为 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

二、(15 分) 硼原子的 $3\ ^2S_{1/2} \rightarrow 2\ ^2P_{3/2}$ 跃迁在外磁场 (B 已知) 中发生塞曼效应。计算新旧谱线的波数差, 画相关能级图, 标出容许跃迁及其偏振类型。

三、(5 分) 地球上的某种原子处于基态时, 在某一个亚壳层内有且只有 3 个价电子。原子的其它电子均处于自旋配对状态。设价电子之间服从 LS 耦合。分析并写出这种原子可能的基态原子态。

四、(9 分) μ^- 子的质量约为电子质量的 207 倍。初动能为 1 eV 的 μ^- 子掠过 ^1H 原子核时被其俘获至 $n=2$ 态, 之后立刻退激至 $n=1$ 态。设有足够数量的上述事件在发生。计算上述过程的发射光谱中谱线的波数。

五、(9 分) 已知 Li 原子 S 能级的量子数亏损 $\Delta_s = 0.41$, 主线系共振线 (从基态到第一激发态的共振吸收谱线) 波长 $\lambda = 6707\ \text{\AA}$, 辅线系系限波长 $\lambda_\infty = 3519\ \text{\AA}$ 。(1) 求基态 Li 原子的电离能。(2) 考虑精细结构, 求 2p 态的双层能级间隔。

六、(8 分) HCl 分子的平衡力常数 $k \approx 480\ \text{N/m}$, 转动惯量 $I \approx 2.73 \times 10^{-47}\ \text{kg}\cdot\text{m}^2$, 折合质量 $\mu \approx 1.62 \times 10^{-27}\ \text{kg}$ 。请计算: (1) 近红外区 1-0 振转谱带的基线波数。(2) 上述谱带中与基线相邻的 2 条谱线的波数。

七、(12 分) 价电子处于 3p3p 态的硅原子被激发, 有的被激发至 3p3d 态, 有的被激发至 3p4s 态。假设 3p3d 能级低于 3p4s 能级, 各价电子服从 LS 耦合。画出相关的原子能级图, 标明每个能级的原子态, 画出退激时的容许跃迁。

八、(8分)已知 ^{210}Po 发生 α 衰变,可直接衰变到子核 ^{206}Pb (稳定核)的基态,也可衰变至其 800 keV 的激发态,然后此激发态直接退激到基态。又已知 ^{210}Po 核、 ^{206}Pb 核、 α 粒子的结合能分别约为 1644、1621、28 MeV。

- (1) 经 1.5 个半衰期的时间后,原样品中 ^{210}Po 与 ^{206}Pb 的摩尔含量比。
- (2) 估算 ^{210}Po 原子的原子量。
- (3) 估算 α 粒子的动能。
- (4) ^{210}Po 样品中能观察到 Pb 和 Po 元素的特征 X 射线。请解释成因。

九、(14分)针对原子序数 $Z=70$ 的 Yb 元素, (1) 写出基态的核外电子排布式;
(2) 写出基态的原子态; (3) 计算基态的有效磁距; (4) 计算 K_{α} X 射线的波数; (5) 考虑精细结构, K 和 L 线系各分别包含几条特征 X 射线?

附录: 试卷中可能会用到的参数及公式

原子质量单位: $u=1.66054\times 10^{-27}\text{kg}=931.48\text{ MeV}/c^2$; 电子静止质量 $m_e=9.1096\times 10^{-31}\text{kg}$;

电子静止质量能 $m_0c^2=511\text{ keV}$; 质子静止质量 $m_p=1.007277u \approx$ 中子静止质量 $m_n=1.008665u \approx 1836m_e$

玻尔磁子 $\mu_B = \frac{\hbar e}{2m} = 0.92732\times 10^{-23}\text{ J/T} = 5.788\times 10^{-5}\text{ eV}\cdot\text{T}^{-1}$;

里德堡常数 $R_{\infty} = \frac{2\pi^2 me}{(4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^3 c} = 10973731\text{ m}^{-1}$; 精细结构常数: $\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar c} = \frac{1}{137}$;

真空介电常数 ϵ_0 : $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.99\times 10^9\text{ 牛顿}\cdot\text{米}^2/\text{库仑}^2$;

氢原子第一玻尔半径 $a_1 = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{2\pi^2 me^2} = 0.529\text{Å}$; $hcR = 13.6\text{ eV}$, $hc = 1.241\times 10^{-6}\text{ eV m}$;

最后一个电子的能量公式: $E = -\frac{Rhc(Z-\sigma)^2}{n^2} - \frac{Rhc\alpha^2(Z-s)^4}{n^4} \left(\frac{n}{j+\frac{1}{2}} - \frac{3}{4} \right)$