原 子 物 理　期 末 试 题

（物理学院 本科 **2008** 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、判断正误，并改正错误的叙述。*（每小题 1 分，共 20 分）*

1. 原子量等于原子核的质量。
2. 卢瑟福根据α粒子散射实验中观测到的小角散射现象提出了核式结构模型。
3. 处于基态的氢原子能够吸收可见光。
4. 原子退激后，由于放出的光子携带走能量，所以原子会发生质量亏损。
5. 1921-1927 年间的戴维逊-革末实验证明了原子的空间取向量子化。
6. 根据量子力学，处在基态的一维谐振子是静止的。
7. 粒子的德布罗意波长λ与粒子动量 p 的关系为 $\lambda = p/\hbar$ 。
8. 描述束缚粒子的波函数的 3 个标准条件为 单值、有界、归一。
9. Mg^+ 离子的能级具有双层精细结构，是由于相对论效应所引起的。
10. B^+ 离子的第一激发态（考虑精细结构）不一定是亚稳态。
11. 氢原子巴尔末系在考虑精细结构后，进一步分成主、漫、锐、基四个线系。
12. 处于原子中 L 主壳层的单电子的轨道磁矩可能大于其自旋磁矩。
13. 从 C 原子的 2p3d ^3P 到 2p3s ^3S，可发生的电偶极跃迁数为 9。
14. 从 C 原子的 2p3d ^3P 到 2p2p ^3P，可发生的电偶极跃迁数为 7.
15. 地球上任何元素的特征 X 射线都不可能发生电子对效应。
16. 当原子核退激并发生内转换效应时，会有内转换电子从原子核中放出。
17. 在原子核内，中子的轨道磁矩和自旋磁矩均为 0。
18. 原子核的电四极矩为负时，原子核对称轴的长度等于另外两个轴的长度。
19. 若原子核分别绕 a、b、c 三个轴转动时的转动惯量满足 $I_a < I_b < I_c$，则最可几的转动轴为 c 轴。
20. 原子核发生α衰变时，会伴随有中微子的产生。

二、*（12 分，各 4、7、1 分）*针对 He^+ 离子，在玻尔模型框架内计算或回答：

（1）基态时电子轨道运动的半径。（2）使大量原来处于基态的 He^+ 离子激发以观测其退激时产生的光谱，要想最多观测到 6 条不同波长的谱线，外界提供的激发能量的范围是多少？（3）假设只有一个 He^+ 离子，且处于 n=5 状态。在它最终退激回基态的过程中，最多可能发生多少条光谱跃迁？

三、*（16 分，每小问 4 分）*已知 Na 原子的量子数亏损：$\Delta_s = 1.35$、 $\Delta_p = 0.86$、$\Delta_d = 0.01$。（1）求基态光谱项的项值。（2）不考虑精细结构，计算主线系的系限波长。（3）漫线系第一条谱线的精细结构中，波长最小和最大的两条谱线分别产生于怎样的原子态之间的跃迁？（4）上一问中的两条精细结构谱线的波数差是多少？

四、*（12 分）*按照 LS 耦合规则推导同科 p^3 电子可以生成的各原子态（要求有推导过程）。并画出相关的能级图以便展示出各原子态的高低次序。

五、*（14 分）* 某原子中 $^3D_1 \rightarrow {}^3P_1$ 的光谱跃迁在磁场中发生塞曼效应。计算塞曼谱线与原谱线的波数差（表达成外磁场 B 的函数，或者以洛仑兹单位 L 表示）。画出相应能级图及跃迁。从垂直于磁场方向可观察到多少条不同波长的谱线？

六、*（18 分，各 3、3、2、6、4 分）*针对基态 Ir 原子(原子序数 Z=77)，(1) 写出完整核外电子排布式；(2) 写出原子态；(3) 单独电离 1 个 3d 电子和 1 个 4s 电子所需要能量分别为 A 和 B， 比较 A 和 B 的大小关系（以上三问直接给结果，不写中间过程）； (4) 计算有效磁矩；(5) 计算 K_α X 射线能量。

七、*（8分，各2、4、2分）*HF 分子 $v=1 \rightarrow v=0$ 振转谱带的基线波数为 3958 cm^{-1}，与基线紧密相邻的两条谱线的波数间隔为 84 cm^{-1}。（1）估算 $v=2$ 与 $v=1$ 振动能级的波数间隔。（2）估算 HF 分子的转动惯量。（3）尝试讨论：HCl 与 HF 相比，1-0 振转谱带基线波数值会发生怎样趋势的变化？谱带中谱线间隔会发生怎样趋势的变化？

附录：试卷中可能会用到的参数及公式

原子质量单位：$u=1.66055\times10^{-27}\mathrm{kg} = 931.48\ \mathrm{MeV/c^2}$;　　电子静止质量 $m_e=9.1096\times10^{-31}\mathrm{kg}$;

电子静止质量能 $m_0c^2 = 511\ \mathrm{keV}$;　　质子静止质量 $m_p=1.6726\times10^{-27}\mathrm{kg} \approx 1836 m_e$;

玻尔磁子 $\mu_B = \dfrac{\hbar e}{2m} = 0.92732\times10^{-23}\ \mathrm{J/T} = 5.788\times10^{-5}\ \mathrm{eV\cdot T^{-1}}$;

里德堡常数 $R_\infty = \dfrac{2\pi^2 me}{(4\pi\varepsilon_0)^2 h^3 c} = 10973731\ \mathrm{m^{-1}}$;　　精细结构常数：$\alpha = \dfrac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 \hbar c} = \dfrac{1}{137}$;

真空介电常数ε_0 ：$\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 8.99\times10^9$ 牛顿·米^2/库仑^2;

氢原子第一玻尔半径 $a_1 = \dfrac{4\pi\varepsilon_0 h^2}{4\pi^2 me^2} = 0.529\text{Å}$;　　$hcR=13.6\ \mathrm{eV}$，　　$hc=1.241\times10^{-6}\ \mathrm{eV\ m}$;

康普顿散射公式提示：$\Delta\lambda = \dfrac{h}{mc}(1-\cos\phi)$;　　电子的康普顿波长 $\lambda_{eC} = \dfrac{h}{m_e c} = 0.0243\ \mathring{\mathrm{A}}$;

单价电子体系精细结构能级提示：$E = -\dfrac{Rhc(Z-\sigma)^2}{n^2} - \dfrac{Rhc\alpha^2(Z-s)^4}{n^4}\left(\dfrac{n}{j+\frac{1}{2}} - \dfrac{3}{4}\right)$