

2014 - 2015 学年第 2 学期《 原子物理 》课程试题

一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	总分

一、 填空题（每空 1 分，共 20 分）

- 1、 处于一维无限深势阱中粒子的能量是量子化的，势阱宽度增加时，相邻能级的间隔_____ (选填 增大、减小 或 不变)。
- 2、 碱金属原子主量子数为 n 的能级按照轨道角动量量子数 l 的不同而发生了简并的解除现象，这主要是由于_____ 所引起的，并且对于给定的 n ，当 l 越大时能级位置越 _____；而 n 和 l 相同的能级又进一步分裂为双层精细结构，这是由于_____所引起的，并且 当 n 变大时，双层的间隔 _____，而当 l 变大时，双层间隔_____。
- 3、 1914 年夫兰克-赫兹实验证实了_____特征； 1921 年史特恩-盖拉赫实验证实了_____特征；1927 年发表的戴维逊-革末实验证实了_____特征。
- 4 、 已知 某量子态的波函数为 Ψ ，其复数共轭为 Ψ^* ，则当_____时，该状态的宇称为负。
- 5、 处于 _____ 主壳层内的电子，其自旋磁矩必然大于其轨道磁矩。

- 6、 写出定态薛定谔方程的一般形式_____。
- 7、 某双原子分子的电子态为 $^3\Pi_2$ ，则沿分子轴方向的总轨道角动量为 _____。
- 8、根据薛定谔方程处理氢原子，当其处于 $n=3$ 、 $l=2$ 、 $m=-1$ 的量子态时，轨道角动量 Z 轴分量 L_z 的的本征值为_____、能量 E 的本征值为_____。
- 9 、 关于 γ 射线 的 光电效应、康普顿效应、电子对效应，其中 _____效应 可以发生在光子与自由电子之间。
- 10、对于基态原子，随原子序数增加，当 $Z=$ _____ 时，3d 支壳层首次达到全满。
- 11、设 ^2H 、 ^3He 的比结合能分别为 A 、 B 。核聚变反应 $^2\text{H}+ ^2\text{H} \rightarrow ^3\text{He}+ n$ 释放出的能量为 _____。
- 12、某原子的价电子遵从 LS 耦合极限，原子基态为单重态。这样的原子置于磁场 B 中后，又进一步提供了传播方向与 B 垂直的微波。当微波频率增加至 $1.4\times 10^{10}\text{Hz}$ 时，发生了顺磁共振。则恒定磁场 B 为_____特斯拉。
- 13、跃迁 $^2D_{3/2} \rightarrow ^2P_{1/2}$ 发出的光谱线在弱磁场中发生塞曼效应，而在足够强磁场中， LS 耦合极限可以被打破， S 和 L 不再耦合成 J ，而是分别独立地绕外磁场旋进。在这样的强磁场中，原谱线分裂为 _____ 条。

原子质量单位：u=1.66054×10⁻²⁷kg = 931.48 MeV/c²； 电子静止质量 m_e=9.1096×10⁻³¹kg ；
电子静止质量能 m₀c² = 511 keV； 质子静止质量 m_p=1.007277u ≈ 中子静止质量 m_n=1.008665u

玻尔磁子 μ_B = $\frac{\eta e}{2m}$ = 0.92732×10⁻²³ J/T = 5.788×10⁻⁵ eV · T⁻¹ ；

里德堡常数 R_∞ = $\frac{2\pi^2 m e^4}{(4\pi\epsilon_0)^2 h^3 c}$ = 10973731 m⁻¹； 精细结构常数： $\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \eta c} = \frac{1}{137}$ ；

真空介电常数ε₀ ： $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ = 8.99×10⁹ 牛顿·米² / 库仑²；

氢原子第一玻尔半径 a₁ = $\frac{4\pi\epsilon_0 h^2}{4\pi^2 m e^2}$ = 0.529Å； hcR = 13.6 eV， hc = 1.241×10⁻⁶ eV m；

二、（4 分） 请您谈一谈原子的核式结构模型是如何建立的。（须至少谈及以下要点：

什么实验中的什么现象与之前的什么样的原子模型有着什么样的矛盾，什么人

基于什么样的理由提出了原子的什么样的核式结构模型）

三、(8 分) 已知 Na 原子 第一辅线系的系限波数为 A、基线系系限波数为 B，因 3p → 3s 跃

迁产生的钠黄色双线的平均波数为 C，第二辅线系中谱线波数的最小值为 D。请叙述：

- (1) 如何求 3p 态的有效电荷 Z*； (2) 如何求 3p 态的量子数亏损 Δ_{3p}；
(3) 如何求主线系的系限波数； (4) 如何求第二辅线系的系限波数。

四、(10 分) 根据 玻尔和索末菲建立的氢原子模型，针对 类氢离子 B^{4+} 计算

(不考虑相对论效应、不考虑后期建立的量子力学)

(1) 第一激发态的角动量 (考虑索末菲对玻尔氢原子理论的扩展);

(2) 第一激发态的结合能;

(3) 第一激发态的轨道半径 (不考虑索末菲扩展);

(4) 大量 B^{4+} 离子从 $n=4$ 的初态退激所形成的谱系的波数范围。

五、(6 分) 对某种元素的与 X 射线相关的吸收限进行测量。探测仪器的测量范围足够宽，分辨本领足够好 (不考虑可能因原子核引起的超精细结构)。一共测得 4 个吸收限，能量值 (eV 单位) 分别为 853、48、23、22。

(1) 求此元素的 K_{α} X 射线的能量的平均值; (2) 判断此元素为何种元素;

(3) 求此元素的基态时的第一电离能。

六、(15 分) 设碳原子 2 个价电子之间的耦合 遵从 LS 耦合极限，1 个价电子保持在原 2p 轨道。

- (1) 直接写出另一个价电子被分别处于 2p、3s、3p 轨道时可形成的原子态；
- (2) 以能级纲图的形式，定性展现上述原子态的位置次序；
- (3) 在上图中画出电偶极容许跃迁；
- (4) 指出哪些态为亚稳态；
- (5) 从 $2p3s\ ^3P_1$ 原子态退激的 3 条跃迁的波数分别为 A、B、C (量纲相同， $A<B<C$)，请给出三者之间的数学关系。

七、(6 分) HF 分子在近红外区有一个光谱带，其中某几条相邻谱线的波数是 3874、3916、4000、4042 厘米⁻¹。H 和 F 的原子量分别为 1.008 和 19.000。

- (1) 计算这个谱带的基线波数；
- (2) 求这种分子的转动惯量；
- (3) 估算这种分子的 $v=1$ 和 $v=2$ 振动能级之间的间隔。

八、（11 分，各 3、3、5 分）针对 $Z=43$ 的 Tc 原子的基态：
（1）写出核外电子排布式；（2）直接写出原子态；（3）计算有效磁矩。

九、（6 分） $Z=10、11、12、13$ 号元素中的稳定同位素分别有 $^{20,21,22}\text{Ne}$ 、 ^{23}Na 、 $^{24,25,26}\text{Mg}$ 、 ^{27}Al 。靠近这些核的非稳定核以 β 衰变方式向稳定核演化。现有一枚 ^{22}Mg 放射性同位素制成的放射源样品。
（1）直接写出 ^{22}Mg 向稳定线演化过程中的衰变方程式；
（2）对样品中释放出的射线进行测量，观测到了能量约为 511 keV 的射线。请解释此射线的成因；
（3）除上述 511 keV 的射线外，有来源于其它成因同时具有特定能量的射线也从样品中发射出来。请例举出至少 2 类这样的成因。

十、（14 分）某原子在无磁场时一条谱线在弱磁场（磁场强度为 B ）中发生塞曼效应。
（1）请自行设计具体的符合题意的原子、电子组态及原子态；
（2）针对上述设计，计算在有、无磁场情况下塞曼谱线和原谱线的波数差；
（3）通过画能级图及跃迁，展示上述塞曼效应。