



- 氢原子中第  $n = 3$  玻尔轨道电子的德布罗意波长为  $\lambda_3$ 。若一个自由质子的德布罗意波长也为  $\lambda_3$ ，则该质子动能最接近  
A.  $13.6/9 \text{ eV}$  B.  $(m_e/m_p)(13.6/9) \text{ eV}$   
C.  $(m_p/m_e)(13.6/9) \text{ eV}$  D.  $9 \times 13.6 \text{ eV}$
- 三维无限深方势阱边长为  $L, 2L, 3L$ ，其中  $E_0 = \pi^2 \hbar^2 / (2mL^2)$ ，能量写为  $E = E_0(n_x^2 + n_y^2/4 + n_z^2/9)$ 。不计自旋时，能量小于  $3E_0$  的空间本征态数为  
A. 4 B. 5  
C. 6 D. 8
- 两个原子束实验装置完全相同。甲原子态为  $^2P_{3/2}$ ，乙原子态为  $^3D_2$ ，原子质量和速度相同。相邻斯特恩-盖拉赫束线间距之比  $\Delta z_{\text{甲}}/\Delta z_{\text{乙}}$  为  
A.  $8/7$  B.  $7/8$   
C.  $4/3$  D.  $7/6$
- 某离子的基态谱项为  $^4F$ 。在顺磁共振实验中，基态共振频率为  $\nu_1 = 28.0 \text{ GHz}$ 。同一  $^4F$  多重项的一个激发态在相同磁场下共振频率为  $\nu_2 = 26.0 \text{ GHz}$ ，则该激发态的  $J$  值为：  
A.  $J = 3/2$  B.  $J = 5/2$   
C.  $J = 7/2$  D.  $J = 9/2$
- 某原子基态谱项为  $^6S_{5/2}$ ，其原子有效磁矩大小（以  $\mu_B$  为单位）最接近：  
A. 2.83 B. 3.87  
C. 5.92 D. 6.93
- 在弱磁场中，原子从  $^3D_3$  态跃迁到  $^3P_2$  态。沿垂直磁场方向观测，并在探测器前加一偏振片，只允许电矢量平行于外磁场的线偏振光通过，只考虑电偶极选择定则，谱线分裂成多少条：  
A. 1 B. 3  
C. 5 D. 7
- 两个无相互作用的同类费米子（自旋  $1/2$ ）被束缚在基频为  $\nu_0$  的一维谐振子势中。若总自旋处于三重态，则体系基态的总能量为：  
A.  $h\nu_0$  B.  $2h\nu_0$   
C.  $3h\nu_0$  D.  $4h\nu_0$
- 小拉曼光谱中，设转动常数为  $B$ ，则低波数侧最靠近瑞利线的斯托克斯线与高波数侧最靠近瑞利线的反斯托克斯线之间的间隔为  
A.  $6B$  B.  $12B$   
C.  $4B$  D.  $10B$

## 二、填空题（每题 3 分，共 30 分）

1. 对心卢瑟福散射给出的最近接近距离可作为原子核半径的 \_\_\_\_\_；若入射动能增大 4 倍，该上限变为原来的 \_\_\_\_\_；若入射粒子电荷数加倍，该上限变为原来的 \_\_\_\_\_。
2.  $\mu^-$  子 ( $m_\mu = 206.77m_e$ ) 被  ${}^4\text{He}^{2+}$  核 ( $\alpha$  粒子，取  $m_\alpha = 4u \approx 7294m_e$ ) 俘获形成  $\mu$  子氦离子。该体系折合质量为 \_\_\_\_\_  $m_e$  (保留整数)，基态半径与氢原子基态半径之比  $r_1/a_0 =$  \_\_\_\_\_ (保留三位有效数字)，基态电离能  $|E_1| \approx$  \_\_\_\_\_ keV (保留三位有效数字)。
3. 若某个世界中普朗克常量为我们世界的 10 倍，而  $e, m_e, \varepsilon_0$  等其他物理常数均相同，则从玻尔模型出发，其氢原子基态能量为我们世界的 \_\_\_\_\_ 倍，基态轨道半径为我们世界的 \_\_\_\_\_ 倍，基态电子速度为我们世界的 \_\_\_\_\_ 倍。
4. 寿命为  $\tau$  的激发态，其自然线宽的能量标度满足  $\Delta E \sim$  \_\_\_\_\_，频率线宽满足  $\Delta \nu \sim$  \_\_\_\_\_；若寿命增大 100 倍，线宽约变为原来的 \_\_\_\_\_ 倍。
5. 只考虑精细结构和电偶极跃迁选择定则，氢原子  $n = 5 \rightarrow n = 3$  的谱线分裂成 \_\_\_\_\_ 条。
6. 某个跃迁在弱磁场中发生正常 Zeeman 分裂，垂直于磁场观察可见 \_\_\_\_\_ 条谱线，平行于磁场观察可见 \_\_\_\_\_ 条谱线；垂直于磁场观察到的  $\pi$  线偏振方向相对磁场为 \_\_\_\_\_。
7. 忽略超精细结构，但考虑精细结构和兰姆移位后，氢原子  $n = 2$  能级按不同能量可分裂为 \_\_\_\_\_ 条。
8. 两个同科  $d$  电子，在  $L-S$  耦合下可形成的三重态谱项为 \_\_\_\_\_；可形成的单重态谱项为 \_\_\_\_\_；全部精细结构能级数为 \_\_\_\_\_。
9. 假想电子仍满足泡利不相容原理，但自旋为  $s = 3/2$ ，按壳层填充得到第二个惰性气体的原子序数为 \_\_\_\_\_。
10. 某异核双原子分子  $\nu = 1 \leftarrow 0$  振转光谱中测得： $R(0) = 1502.80 \text{ cm}^{-1}$ ， $R(1) = 1505.40 \text{ cm}^{-1}$ ， $P(1) = 1497.00 \text{ cm}^{-1}$ 。则下态转动常数  $B_0 =$  \_\_\_\_\_  $\text{cm}^{-1}$ ，上态  $B_1 =$  \_\_\_\_\_  $\text{cm}^{-1}$ ，谱带原点  $\bar{\nu}_0 =$  \_\_\_\_\_  $\text{cm}^{-1}$ 。

三、计算题（每题 10 分，共 40 分；必须写出必要的推导或计算过程）

1. 氢原子巴耳末系  $H_\alpha$  线对应  $n = 3 \rightarrow n = 2$  的跃迁。忽略兰姆移位，但考虑精细结构。
  - (1) 判断  $H_\alpha$  精细结构中最短波长和最长波长分别对应哪一组  $(j_u, j_l)$ ，并估算二者波长差  $\Delta\lambda$ 。
  - (2) 对最短波长对应的谱线，在弱磁场中垂直于磁场方向观察其  $\pi$  偏振分量。求相邻最近的两条  $\pi$  分量之间的能量间隔；若该间隔等于第 (1) 问所得  $H_\alpha$  精细结构总展宽的  $1/10$ ，求磁场  $B$ 。

2. 一束基态氮原子通过弱场 Stern–Gerlach 装置。原子束速度  $v = 500 \text{ m/s}$ ，磁场区长度  $l = 6.0 \text{ cm}$ ，出磁场后到接收屏的自由飞行距离  $L = 60 \text{ cm}$ ，磁场梯度  $\partial B/\partial z = 18 \text{ T/m}$ 。氮原子质量取  $14u$ 。求屏上可见的束线数和相邻束线间距。



3. 两个非等效电子分别处于  $p$  与  $d$  轨道, 采用  $L-S$  耦合。实验测量某三重态谱项的三个精细结构能级 (从低到高依次为  $E_1 < E_2 < E_3$ ), 相邻间隔为  $E_2 - E_1 = 30 \text{ cm}^{-1}$ ,  $E_3 - E_2 = 40 \text{ cm}^{-1}$ 。

- (1) 推断该谱项并判断能级次序是正常还是倒转。说明理由。
- (2) 该谱项向相反宇称的  $^3D$  项发生电偶极跃迁。写出无磁场时允许的所有精细结构跃迁 (标明  $J_u \rightarrow J_l$ ), 共几条谱线? 取其中  $J$  最大的一条, 在垂直磁场方向观察时, 其  $\pi$  偏振分量劈裂成几条?

4. 一氧化碳分子的远红外纯转动吸收谱相邻谱线间隔为  $3.86\text{ cm}^{-1}$ ，振动基频为  $2143\text{ cm}^{-1}$ 。取温度  $300\text{ K}$ ，入射激光波数  $20000\text{ cm}^{-1}$ 。
- (1) 求瑞利线两侧最近的转动拉曼线的波数位移，并计算反斯托克斯线与斯托克斯线的强度比  $I_{\text{AS}}/I_{\text{S}}$ （忽略两条线跃迁矩阵元的差异）。
  - (2) 若换成  $^{13}\text{C}^{16}\text{O}$  且键长和力常数近似不变，定性并定量说明转动间隔与振动基频怎样变化。