

原子物理 期末试题

(物理学院 本科 2009 级用, 试题共 5 页, 时间 2.5 小时。 卷面共计 100 分。)

(答案一律写在答题纸上)

一、选择题 (单选或多选, 每小题 1.5 分, 共计 27 分) 答案按顺序写在答题纸上

1. 1897 年汤姆逊证实电子存在的各种实验依据中, 包含以下哪些?
A 阴极射线发生大角散射 B 阴极射线的荷质比远大于其它粒子
C 阴极射线质量远小于原子质量 D 阴极射线经磁场后分裂为 2 束
2. 结合史特恩-盖拉赫实验以及相关原子理论, 可以知道
A 顺磁性原子在均匀磁场中发生原子有效磁矩的空间取向量子化
B 有效磁矩为 0 的原子在非均匀磁场中发生原子角动量的空间取向量子化
C 原子总角动量不为 0 时, 原子的总有效磁矩也一定不为 0
D 氮原子有效磁矩发生取向量子化时, 原子内总自旋磁矩一定是取向量子化的
3. 1911 年卢瑟福提出了原子的核式结构模型, 根据该模型能够知道
A 原子核的质量远大于电子质量 B 原子核由中子和质子构成
C 原子半径在 10^{-10} m 量级 D 入射 α 粒子的散射方向与靶物质种类无关
4. 在玻尔氢原子理论框架内, 能够知道
A 原子内电子的动能是量子化的 B 原子整体平动时, 平动动能是量子化的
C 原子的内部能量是量子化的 D 赖曼系和巴尔末系的谱线强度不同
5. 关于 1927 年的戴维逊-革末实验, 下述说法成立的是
A 直接地验证了质子的波动性 B 观测到了带电粒子在晶体中的衍射
C 支持了玻恩提出的物质波假说 D 观测到了电子的隧道效应

6. 钠黄色双线由 5890\AA 和 5896\AA 的两条谱线构成，在磁场中发生塞曼效应，则
- A 对应 5890\AA 的跃迁分裂为 6 条 B 表现为 σ 偏振的塞曼谱线共有 6 条
- C 平行于弱磁场方向可见 6 条谱线 D 磁场增强时，谱线总数可能会减少
7. 以下哪些现象是由电子自身的自旋-轨道相互作用所引起？
- A 铅原子中 $6p7s$ 电子发生 jj 耦合 B 氢原子能级中存在三重态 $1s2p\ ^3P_{2,1,0}$
- C 碱金属原子光谱包含主、漫、锐、基四个线系 D 电子的隧道效应
8. 某双原子分子有 2 个价电子，所处电子态为 $^3\Pi_2$ 。据此可知
- A 分子轴方向的总自旋角动量为 $\sqrt{2}\hbar$ B 分子轴方向的总轨道角动量为 $2\hbar$
- C 分子轴方向的总角动量为 $\sqrt{6}\hbar$ D 此分子的电子态能级中还存在 $^1\Pi_1$
9. 关于双原子分子的振动，以下叙述成立的是
- A 振动能级间隔一般对应于近红外区，且随振动量子数增加，间隔近似不变
- B 振动量子数相差大于 2 的两个振动能级之间不发生电偶极跃迁
- C 纯振动光谱不存在 D 按照量子力学原理，最低振动能级的能量不为 0
10. 关于双原子分子的转动，以下叙述成立的是
- A 随转动量子数增加，转动能级间隔近似不变 B 转动轴一般与分子轴重合
- C 转动量子数相差大于 2 的两个转动能级之间不发生电偶极跃迁
- D 纯转动光谱存在，并且 分子转动惯量越大，谱线越密集
11. 对于在近红外区所观测到 HCl 分子的光谱，下述叙述成立的是
- A 每条分立谱线都产生于振动态和转动态的同时变化
- B 光谱为带状光谱，谱带基线处的谱线强度最大
- C 初末态的转动量子数之差越大，所产生的谱线越远离谱带基线
- D 在该光谱带的形成过程中，分子的电子态没有发生变化

12. 下列哪些原子序数的原子在基态时, 3d 支壳层处于半满状态?

- A 23 B 24 C 25 D 28 E 31

13. 已知自由粒子波函数 $\Psi = \Psi_0 \exp[\frac{i}{\hbar}(\vec{p} \cdot \vec{r} - Et)]$, 则能量 E 的算符为

- A $-i\hbar \frac{\partial}{\partial r}$ B $i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t}$ C $\hbar^2 \frac{\partial^2}{\partial t^2}$ D 以上均不是

14. 根据薛定谔方程在氢原子中的应用, 关于电子的波函数 $\Psi(r, \theta, \varphi, t)$

- A Ψ 随时间 t 的改变而改变, $\Psi\Psi^*$ 不随时间而改变
B Ψ 关于 z 轴对称, 即不随 φ 的改变而改变; $\Psi\Psi^*$ 也关于 z 轴对称
C $\Psi\Psi^*$ 为偶函数时, 氢原子所处状态的宇称为正
D $\Psi\Psi^*$ 关于 r、 θ 、 φ 三个自变量均满足归一性

15. 已知 $^{159}\text{Tb}_{94}$ 为 Tb 同位素中唯一的稳定核, 则 ^{150}Tb 的衰变方式可能是

- A $^{150}\text{Tb} \rightarrow ^{150}\text{Gd}_{86} + \beta^+$ B $^{150}\text{Tb} \rightarrow ^{150}\text{Dy}_{84} + \beta^- + \nu_e$
C $^{150}\text{Tb} + e^- \rightarrow ^{150}\text{Gd} + \nu_e$ D $^{150}\text{Tb} \rightarrow ^{149}\text{Tb} + n$

16. 1 个 ^{235}U 核俘获 1 个中子后裂变成两个中等质量核, 同时释放 3 个中子。

已知 A=235 处, 比结合能 B/A=X, 中等质量核处 B/A=Y。则上述裂变反应中释放的能量约为

- A $235(Y-X)$ B $235(Y-X)c^2$ C $236(Y-X)$ D $233Y-235X$ E $236(Y-X)c^2$

17. 某原子能级的平均寿命为 10^{-8}s 。此能级的平均宽度的量级约为 (焦耳单位)

- A 10^{-8} B 10^{-19} C 10^{-26} D 10^{-42}

18. 假设电子自旋量子数 $s=3/2$, 其它量子力学规律不变。则 N 壳层最多容纳多少个 f 电子?

- A 0 B $4N^2$ C 14 D 28 E 32 F 以上均不正确

二、(6 分) 一价氦离子 He^+ 的光谱中, 存在某线系与氢原子赖曼系大致处于相同的波段。根据玻尔原子模型计算 He^+ 的该线系的波长范围。

三、(11 分, 各 6、1、1、3 分) 碱金属原子的核电荷数为 Z 、第一电离能为 U_{nl} 。另外设原子处在 nl 态上的量子数亏损为 Δ_{nl} , 价电子感受到的有效核电荷数为 Z_{nl} 。进一步考虑精细结构后, 假设 Z_{nl} 不发生变化。

- (1) 设 Z 和 U_{nl} 已知, 不考虑精细结构, 写出 Δ_{nl} 和 Z_{nl} 的表达式。
- (2) 针对 Li 原子第一辅线系的第一条谱线, 其精细结构由几条谱线构成?
- (3) 在上述结构中, 波数最大的谱线产生于哪两个原子态之间的跃迁?
- (4) 写出上述精细结构中相距最近的两条谱线的波数间隔。为便于计算, 假设 $Z_{2s}=1.8$ 、 $Z_{2p}=1.4$ 、 $Z_{3s}=1.7$ 、 $Z_{3p}=1.3$ 、 $Z_{3d}=1.1$ 已知。

四、(16 分) 原来处于基态的氖原子 ($Z=10$) 被激发。其最外次壳层中的一个电子被激发到 $3p$ 轨道, 其余电子的状态保持不变。在 LS 耦合假设下, 定性画出从该激发态至基态之间的原子能级图, 给出图中每个能级的原子态表示, 标出可以发生的电偶极光谱跃迁, 指出哪些态是亚稳态, 给出亚稳态的能量间隔比值。

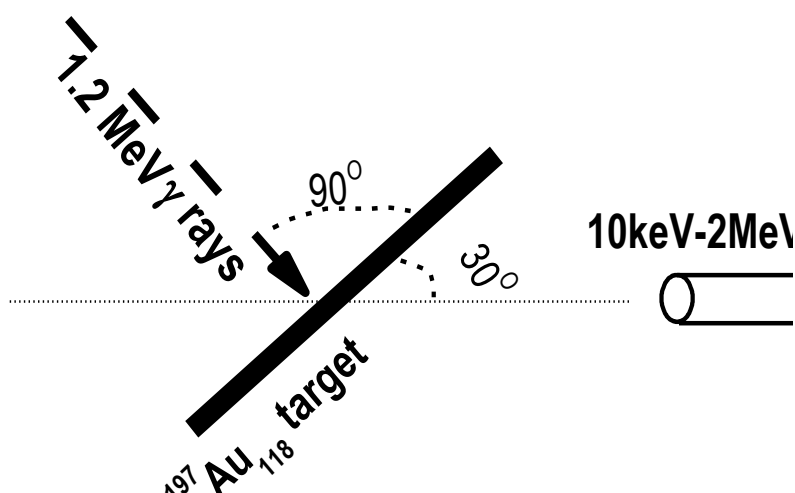
五、(14 分, 各 2、2、8、2) 就 $Z=67$ 的处于基态的铥(Ho) 原子:

- (1) 写出它的完整核外电子排布式; (2) 写出它的原子态 (直接给结果);
- (3) 计算它的 g 因子和总轨道磁矩、总自旋磁矩、原子总磁矩; (以 μ_B 为单位)
- (4) 经横向不均匀磁场后 分裂为几束?

六、(12 分) Be 原子 ($Z=4$) 的 $2s2p \rightarrow 2s2s$ 跃迁在弱磁场 (磁感应强度 B) 中发生塞曼效应。计算塞曼谱线与无磁场时谱线的波数差, 并画出相关的能级图, 按照相关的跃迁选择定则, 标出容许跃迁。

七、(14分, 各1、3、10分) 如下图, 一束能量为 1.2 MeV 的 γ 射线, 垂直射到一片 $^{197}\text{Au}_{118}$ 稳定同位素薄靶上。靶后 30° 方向很远处放置一台射线探测器, 可测量电中性的射线的能量, 量程为 10 keV-2 MeV。探测器所记录能谱包含连续本底谱和叠加在本底谱上的若干射线峰构成。根据本课程中所学知识,

- (1) 分析连续本底谱的成因
- (2) 针对能量最大的 3 个峰, 说明它们的成因
- (3) 计算或估算上述 3 个峰的能量。



附录: 试卷中可能会用到的参数及公式

原子质量单位: $u=1.66055 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931.48 \text{ MeV}/c^2$; 电子静止质量 $m_e=9.1096 \times 10^{-31} \text{ kg}$;

电子静止质量能 $m_0 c^2 = 511 \text{ keV}$; 质子静止质量 $m_p=1.6726 \times 10^{-27} \text{ kg} \approx 1836 m_e$;

玻尔磁子 $\mu_B = \frac{\hbar e}{2m} = 0.92732 \times 10^{-23} \text{ J/T} = 5.788 \times 10^{-5} \text{ eV} \cdot \text{T}^{-1}$; $hcR=13.6 \text{ eV}$, $hc=1.241 \times 10^{-6} \text{ eV m}$;

里德堡常数 $R_\infty = \frac{2\pi^2 m e}{(4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^3 c} = 10973731 \text{ m}^{-1}$; 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 $a_1 = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{4\pi^2 m e^2} = 0.529 \text{ \AA}$;

康普顿散射公式: $\Delta\lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\phi)$; 电子的康普顿波长 $\lambda_{ec} = \frac{h}{m_e c} = 0.0243 \text{ \AA}$;

碱金属原子双层能级裂距: $\Delta\bar{\nu} = \frac{\Delta E}{hc} = \frac{R\alpha^2 Z^4}{n^3 l(l+1)}$