



试题名称： 原子物理

(注：所有答案均写在答题纸上)

一. 选择题(共 15 题, 共有 30 分,)

- 将钠光灯置于某均匀磁场中, 发现波长为 589.0nm 的谱线分裂为间距相等的三条谱线。人们将这种现象称为:
A. 正常塞曼效应; B. 反常塞曼效应;
C. 顺磁共振; D. 帕邢-巴克效应。
- 在双原子分子的带状光谱中, 有些谱带具有这样的特征: 一边(称谱带头)密集而朝另一边是漫散的且逐渐减弱, 有关具有这样特征带的组成, 下列哪个说法是明显错误的。
A. 振转谱带中(即没有电子跃迁)一般不会出现具有这样特征的带;
B. 由于不同转动能级组间的跃迁产生的带光谱, 组成各谱带的谱线彼此分开;
C. 谱带头可以出现在光谱低波数即红端;
D. 无论什么光谱带, 谱带头必定在同一组转动量子数间跃迁产生。
- 氢原子 $2^2P_{1/2}$ 与 $2^2S_{1/2}$ 间的能级差为:
A. 0.44eV; B. 4.4×10^{-3} eV;
C. 4.4×10^{-6} eV; D. 4.4×10^{-3} eV。
- 一个 p 电子和一个 s 电子在 jj 耦合下所形成的全部原子态是:
A. $(3/2, 3/2)_1, (3/2, 3/2)_0, (1/2, 1/2)_1, (1/2, 1/2)_0$;
B. $(3/2, 1/2)_2, (3/2, 1/2)_1, (1/2, 1/2)_1, (1/2, 1/2)_0$;
C. $(3/2, 1/2)_2, (3/2, 1/2)_1$;
D. $(1/2, 1/2)_1, (1/2, 1/2)_0$ 。
- 有关原子电偶极辐射跃迁选择定则, 下列说法中错误的是:
A. 无论是 LS 耦合还是 jj 耦合, 首先必须满足拉波特定则: $\sum l_i = \text{偶} \Leftrightarrow \sum l_i = \text{奇}$;
B. 在 LS 耦合中, 若 $\Delta S, \Delta L, \Delta J$ 的要求全部满足, 则拉波特定则也一定满足;
C. 对于单价原子, 只要满足 $\Delta l = \pm 1$, 拉波特定则也自然满足;
D. 对于一般的多电子原子, 在 LS 耦合下, ΔL 可以为零。
- 正电子与电子相遇可形成一种类氢结构的“电子偶素”, 其里德伯常数等于:
A. $R_\infty/2$; B. $3R_\infty/4$; C. R_∞ ; D. $2R_\infty$ 。
- 在氢原子中电子和质子绕着它们的质心运动, 在 $n=1$ 的轨道上, 电子相对于质心的角动量等于:
A. \hbar ; B. $\frac{1836}{1837}\hbar$; C. $\frac{1837}{1836}\hbar$; D. $\hbar/2$ 。
- 动能为 0.87MeV 的质子接近静止的汞核, 当瞄准距离为 $6.6 \times 10^{-14}\text{m}$ 时, 散射角为 90° 。现有同样动能的 α 粒子, 以同样的瞄准距离接近静止的汞核, 这时 α 粒子的散射角为
A. 78° ; B. 90° ; C. 127° ; D. 178° 。
- 原子序数为 Z 的类氢离子, 其电子在第一玻尔轨道上的线速度为:
A. $Z^{1/2}c/137$; B. $Z^{-1}c/137$; C. $Zc/137$; D. $Z^2c/137$ 。
- 在加速电压为 $2 \times 10^5\text{V}$ 工作的 X 射线管所产生的短波限的波长为多少 nm?
A. 10^{-6} ; B. 6.21×10^{-13} ; C. 6.21×10^{-4} ; D. 1.5×10^{-16} 。

11. 质量为 M 的原子核与质量为 m_e 的电子结合成一个单电子离子, 该离子的里德伯常数 R_M 与 R_∞ 的关系为:

A. $R_M = R_\infty$; B. $R_M = R_\infty (1 + \frac{m_e}{M})$;

C. $R_M = R_\infty / (1 + \frac{m_e}{M})$; D. $R_M = R_\infty \frac{m_e}{M}$ 。

12. 铜原子 (La, $Z=57$) 的外层电子结构是 $6s^2 5d^1$, 其基态时的原子态是:

A. $^2D_{3/2}$; B. $^2D_{5/2}$; C. 1S_0 ; D. 3S_1 。

13. 一维方势阱中的粒子可以有若干个态, 若井宽 L 缓慢减小到 L' , 则:

A. 每个能级的能量减小; B. 能级数增多;
C. 每个能级的能量不变; D. 相邻能级间的能量差增加。

14. 在非相对论条件下, 若电子在势场 $V=V(x)$ 中运动, 总能量 $E_k+V=(P^2/2m)+V$ 恒定, 那末电子对应的

A. 德布罗意波长和动量都是恒定的; B. 德布罗意波长和动量不是恒定的;
C. 德布罗意波长和频率都是恒定的; D. 德布罗意波长和频率都不是恒定的。

15. 微观粒子的运动状态用波函数 $\psi = (x, y, z, t)$ 描述, 对波函数的统计解释是:

A. 它表示微观粒子在 t 时刻的坐标位置;
B. 它表示物质波在 t 时刻、 x, y, z 处的强度;
C. 它表示物质波在 t 时刻、 x, y, z 处的振幅;
D. 它的模方表示微观粒子在 t 时刻、 x, y, z 处单位体积内出现的概率。

二. 填空题(共 10 题, 共有 50 分)

1. 由 LS 耦合得到的原子多重能级的间隔大小之比服从_____定则。按此定则, 对于正常次序的 4P 态的几个能级间隔之比 (由下而上) 为_____。

2. LS 耦合和 jj 耦合是角动量耦合的两种极端情况。当原子中不同电子间的自旋 (或轨道) 作用远大于同一电子的自旋-轨道作用时, 适用 _____ 耦合法; 当同一电子的自旋-轨道作用远大于不同电子间的自旋 (或轨道) 作用时, 则适用 _____ 耦合法。对于高激发态原子或重原子多适用 _____ 耦合法。

3. 原子内层电子的跃迁形成 X 射线标识谱的选择定则是 Δl 等于____, Δj 等于____和_____。

4. 某原子 K, L, M 壳层的能级分别为 $E_K = -69.7\text{keV}$, $E_L = -10.9\text{keV}$, $E_M = -2.3\text{keV}$, 若用工作电压为 80kV 的 X 射线管产生的辐射照射在该原子上, 则从 K, L, M 壳层击出的电子的最大动能分别为_____和_____和_____。

5. 在某一磁场 B 下, 处在状态甲的 a 类原子其塞曼分裂相邻能级间距与处在状态乙的 b 类原子塞曼分裂相邻能级间距之比为 4:9。请问同样处于状态甲与乙的 a 类与 b 类原子分别在上述磁场 B 下, 若当微波发生器频率为 $3.08 \times 10^9 \text{ Hz}$ 时, a 类原子发生顺磁共振; 则当微波发生器频率为_____时, b 类原子也将发生顺磁共振。

6. 在扫描隧道显微镜中, 针尖原子的电子和样品材料表面原子的电子的_____发生交叠, 由于量子力学的_____效应而产生_____电流, 其大小对针尖与样品表面的距离十分敏感。

7. 在量子力学中, 粒子存在不为零的零点能, 即使是处在最低能量值的粒子也不可能是绝对静止的, 这是_____原理必然导致的结果。
8. 爱因斯坦电磁辐射理论包括的三个过程为_____, _____, _____, 产生激光的物理基础是_____。
9. 喇曼效应中, 除了原来的波数 $\bar{\nu}_0$ 外, 还有 $\bar{\nu}_0 \pm \bar{\nu}_i$ 的波数出现, 其中波数不变的那条线叫_____线, $\bar{\nu} = \bar{\nu}_0 - \bar{\nu}_i$ 的线叫_____线, 而 $\bar{\nu} = \bar{\nu}_0 + \bar{\nu}_i$ 的线叫_____线。
10. 由于库仑势能与_____无关, 因而可以将薛定谔方程的解表达为坐标函数与_____函数的乘积。

三. 计算题(共4题, 共有70分)

1. 在 HCl 分子中观测到若干波数(cm^{-1})为 83.03、103.73、124.30、145.03、165.51 和 185.86 的吸收谱, 这些是振动还是转动跃迁? 如果是振动, 什么是特征频率? 如果是后者, 相应于什么 J 值? HCl 惯量矩是什么? 并估算一下两个核之间的距离? (已知 $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$, Cl 的原子量是 35, $m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{kg}$) (17分)
2. 一动能为 2.8eV 的电子被氢核所俘获, 并发射出波长为 200nm 的光子, (1) 试问该电子被俘获到哪个能级? (2) 当电子由这个能级向低能级跃迁时, 可发出几条光谱线? 若原子核可视作静止不动, 那么其中的哪些谱线也可在氢原子的光谱中找到? (不考虑精细结构) (17分)
3. 一质子束与一处于基态的氢原子束以相等的速率相向而行, 欲使一质子与氢原子发生非弹性对心碰撞, 质子至少应具有多大的动能? 相应于以多大的速率运动? (15分)
4. μ^- 子的质量约为电子质量的 200 倍, 除质量不同外, 其余均与电子相同。
 (1) 设一个 Li 原子核 ($Z=3$) 俘获一个 μ^- 子后形成的原子体系处于基态。略去锂核的运动。
 (a) 试求体系的能量;
 (b) 定性画出 μ^- 子的径向概率密度 $P(r)$ 随它与锂核距离 r 的变化曲线, 并在 r 轴上标明 μ^- 子绕核的第一玻尔轨道半径的位置及数值。
 (2) 设 Li 原子中的一个电子被一个 μ^- 子取代。
 (a) 试求该原子体系的基态能量;
 (b) 该原子体系的化学性质最类似于哪种元素? 为什么? (20分)

附: 常数表

普朗克常数	$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s} = 4.136 \times 10^{-15} \text{eV}\cdot\text{s}$	里德堡常数	$R_\infty = 1.097 \times 10^7 \text{m}^{-1}$
基本电荷	$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{C}$	阿伏伽德罗常数	$N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$
复合常数	$hc = 1240 \text{eV}\cdot\text{nm}$	玻耳兹曼常数	$k = 1.380 \times 10^{-23} \text{J}\cdot\text{K}^{-1} = 8.617 \times 10^{-5} \text{eV}\cdot\text{K}^{-1}$
电子质量	$m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{kg} = 0.511 \text{MeV}/c^2$	质子质量	$m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{kg} = 938 \text{MeV}/c^2$
复合常数	$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} = 1.44 \text{eV}\cdot\text{nm}$	玻尔磁子	$\mu_B = 9.274 \times 10^{-24} \text{J}\cdot\text{T}^{-1} = 5.788 \times 10^{-5} \text{eV}\cdot\text{T}^{-1}$
玻尔半径	$a_0 = 0.529 \times 10^{-10} \text{m}$	原子质量单位	$u = 1.66 \times 10^{-27} \text{kg} = 931 \text{MeV}/c^2$

中国科学院 & 中国科学技术大学
2003 年硕士学位研究生入学考试试题参考答案

试题名称: 原子物理

一. 选择题(共 15 题, 共有 30 分)

1. D; 2. A; 3. C; 4. B; 5. B; 6. A; 7. B; 8. C; 9. C; 10. C;
11. C; 12. A; 13. D; 14. B; 15. D.

二. 填空题(共 10 题, 共有 50 分)

- 朗德间隔 (1 分); 3:5 (2 分) (能级 J 的次序为 1/2, 3/2, 5/2)。
- LS (1 分); JJ (1 分); JJ (1 分)。
- $\pm 1; 0; \pm 1$ 。
- 10.3keV; 69.1keV; 77.7keV。
- 6.93×10^9 Hz; 提示:
 $g_1 \mu_B B = h \nu_1$; $g_2 \mu_B B = h \nu_2$;
 $\nu_2 = \frac{g_2}{g_1} \nu_1 = \frac{9}{4} \times 3.08 \times 10^9 \text{ Hz} \approx 6.93 \times 10^9 \text{ Hz}$
- 电子云; 隧道; 隧道。 7. 不确定关系
- 不确定关系
- 自发辐射, 受激吸收, 受激辐射, 受激辐射
- 瑞利; 斯托克斯; 反斯托克斯。
- 时间; 时间。

三. 计算题(共 4 题, 共有 70 分)

1. 解: (17 分)

$\Delta \tilde{\nu} = 20.70, 20.57, 20.73, 20.48, 20.35$ 近于等间隔, 且波长属远红外区。

\therefore 是转动跃迁。

谱线间隔的平均值为 20.57 cm^{-1} , 于是得 $B = 20.57/2 = 10.29 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$

\therefore 谱线波数为 $\tilde{\nu} = 2B J'$, 则可判断 $J' = 4, 5, 6, 7, 8$

$$I = h/(8\pi^2 c B) = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{8\pi^2 \times 3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \times 1029 \text{ m}^{-1}} = 2.7 \times 10^{-47} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{\mu}} = \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} I} \approx 0.129 \text{ nm}$$

中国科学院 & 中国科学技术大学

2003 年硕士学位研究生入学考试试题参考答案

2. 解: (17 分)

$$(1) E_n = 2.8 \text{ eV} - 1240/200 \text{ eV} = -3.4 \text{ eV}$$

$$E_n = -R_\infty hc Z^2 / n^2 = -13.6 \times 4 / n^2 = -3.4, \quad \therefore n = 4$$

(2) 6 条谱线

若核视作不动, 则 $R_H = R_{He} = R_\infty$

$$1/\lambda_{He} = R_\infty Z^2 (1/m^2 - 1/n^2) = R_\infty [1/(m/2)^2 - 1/(n/2)^2]$$

$$\therefore m = 1, n = 2, 3, 4, \quad m/2 = 1/2, n/2 = 1, 1.5, 2$$

$$m = 2, n = 3, 4, \quad m/2 = 1, n/2 = 1.5, 2$$

$$m = 3, n = 4, \quad m/2 = 1.5, n/2 = 2$$

$$1/\lambda_H = R_\infty (1/m^2 - 1/n^2)$$

当 He^+ 由 $n = 4$ 的能级向 $m = 2$ 的能级跃迁时, 发出的光谱线与氢原子赖曼系第一条谱线波长相等, 故可在氢原子赖曼系中观察到。

3. 解: (15 分)

在碰撞过程中, 能转变为原子内部能量的动能最多为:

$$\frac{1}{2} \mu V_{rel}^2 = \frac{1}{4} m_p (2V)^2 = m_p V^2, \quad V \text{ 为质子速率。}$$

欲发生非弹性对心碰撞:

$$m_p V^2 \geq E_2 - E_1 = 13.6 \times \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) = 10.2 \text{ (eV)}$$

$$\therefore (E_k)_{\min} = \frac{1}{2} m_p V^2 = 5.1 \text{ eV}$$

$$V = [2 \times 5.1 / (0.511 \times 1836 \times 10^{-6})]^{1/2} \times 3 \times 10^8 = 3.13 \times 10^4 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1})$$

4. 解: (20 分)

$$(1) \mu = m_\mu = 200 m_e$$

$$(a) E_1 = -\frac{1}{2} \mu (\alpha c)^2 Z^2 = -13.6 \times 200 \times 3^2 = -2.45 \times 10^4 \text{ eV}$$

$$(b) r_1 = \frac{m_e a_0}{\mu Z} = \frac{0.0529}{200 \times 3} = 8.82 \times 10^{-5} \text{ nm}$$

(图 2 分, 数值 3 分。)

$$(2) (a) E \approx E_1 = -2.45 \times 10^4 \text{ eV}$$

(b) μ^- 子离 Li 核很近, 对 Li 核起了很好的屏蔽作用, 电子处于 $Z^* = 2$ 的有效库仑场中, 基态时, 两电子处于 $1s$ 态, 因该原子体系的化学性质由外层电子决定, 所以它的化学性质最类似于氦。

