

* 说明: 全部答题包括填空、选择题必须答在考点下发的答题纸上, 否则, 一律无效。

试题名称:

原子物理

一. 选择题(共 10 题, 共有 40 分, 每题为 4 分)

1. 某原子处在 $^2S_{1/2}$ 态时, 当微波发生器频率调到 1.40×10^{10} Hz 时, 发生了顺磁共振。此时恒定磁场的 B 值应为

- A. 0.02T; B. 0.500T;
C. 5.00T; D. 1.40T。

2. 核自旋量子数 I 为 $7/2$ 的某碱金属原子, 其基态的超精细结构:

- A. 由 8 个子能级组成, 其 F 值分别为 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7。
B. 由 2 个子能级组成, 其 F 值分别为 3, 4。
C. 由 2 个子能级组成, 其 F 值分别为 $5/2$, $7/2$ 。
D. 由 3 个子能级组成, 其 F 值分别为 $5/2$, $7/2$, $9/2$ 。

3. 分子振动的零点能为:

- A. $\frac{h}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{\mu}}$; B. $\frac{h}{4\pi} \sqrt{\frac{k}{\mu}}$; C. $2h \sqrt{\frac{k}{\mu}}$; D. $\frac{h}{4\pi} \sqrt{\frac{\mu}{k}}$ 。

4. 对于有二个价电子的原子, 利用 LS 耦合和 jj 耦合分别求出的原子态中

- A. 状态个数和能级间隔相同;
B. 量子数 J 和能级间隔相同;
C. 状态个数和量子数 J 相同;
D. 状态个数和量子数 S 相同。

5. 按泡利原理, 对主量子数为 n 的电子, 其可能选择的状态数是:

- A. n^2 ; B. $2n^2$; C. $2(2l+1)$; D. $2j+1$ 。

6. 某原子处于多重性为 5、 J 的简并度为 7 的状态时, 其轨道角动量的最大值为 (以 \hbar 为单位):

- A. $\sqrt{6}$; B. $\sqrt{12}$;
C. $\sqrt{20}$; D. $\sqrt{30}$ 。

7. 在正电子与负电子形成的电子偶素中, 正电子与负电子绕它们共同的质心运动。在 $n=2$ 的状态, 两电子之间的距离等于:

- A. $2a_0$; B. $4a_0$; C. $8a_0$; D. $16a_0$ 。(a_0 : 氢原子的第一玻尔轨道半径)

8. μ^+ 子带有 $+e$ 电荷, 质量为 $m_\mu=106\text{MeV}/c^2$, π^- 介子带有 $-e$ 电荷, $m_\pi=140\text{MeV}/c^2$ 。若在这两个粒子组成的奇特原子中, 两个粒子都能当成质点粒子来处理, 则该原子的里德伯常数 R 为:

- A. $0.34 R_\infty$; B. $0.57 R_\infty$; C. $118 R_\infty$; D. $274 R_\infty$ 。

9. 由实验测得 HCl 分子的转动常数 $B=10.397\text{cm}^{-1}$, 该分子的约化质量为 $1.63 \times 10^{-27}\text{kg}$, 则 HCl 分子中两原子的平衡距离 r_0 为:

- A. 0.3nm; B. 0.129nm; C. 0.32nm; D. 0.25nm。

($h=6.63 \times 10^{-34}$ 焦耳·秒)

10. 在量子力学中, 对于氢原子问题, 从薛定谔方程及其所满足物理条件, 就可以直接得到以下各力学量的量子化, 而无需人为地加上量子化条件:

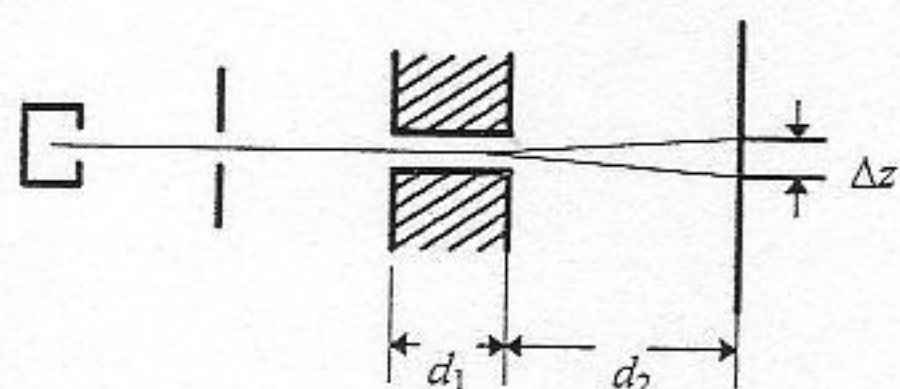
- A. 动量, 角动量, 能量; B. 能量, 动量, 动量 z 方向分量;
C. 能量, 角动量, 角动量 z 方向分量; D. 能量, 轨道角动量, 动量。

二. 填空题(共 10 题, 共有 47 分)

1. 当 K 壳层的空位向 L, M……壳层跃迁时所形成的精细结构谱线是从原子状态_____向_____和_____的跃迁。其中每条谱线都是_____结构, 所有谱线则组成_____线系。
2. 铍原子 ($Z=4$) 的两个外层电子分别被激发到 2p 和 3s 态, 由它们所组成的原子态向 2p2p 组态的原子态跃迁时共可产生_____条谱线, 其中三重态间的跃迁可产生_____条谱线。
3. 小喇曼线的产生与分子的_____状态有关。
4. 按氢原子的玻尔理论, $n=2$ 时只有一个能级。若考虑了电子自旋-轨道耦合及相对论效应, 则此能级将分裂为_____个能级。若再考虑兰姆移动的影响, 则此玻尔能级将分裂为_____个能级。今知氢原子的核自旋量子数 $I=1/2$, 故若再考虑超精细结构, 则玻尔能级将分裂为_____个能级。其中兰姆移动的影响比上述_____对玻尔能级的影响小得多。
5. 某原子基态时, $n=1, 2, 3$ 的壳层和 4s、4p 支壳层均已填满, 又在 4d 和 5s 支壳层上分别填了 5 个和 1 个电子, 则其电子组态为_____, 原子序数 $Z=$ _____, 基态时的原子态为_____。
6. 经过 10kV 电势差加速的电子束和质子束的德布罗意波长分别为: $\lambda_e=$ _____nm, $\lambda_p=$ _____nm。
7. 假设与原子中电子及原子核中核子(中子和质子)的动能不确定性有关的能量值分别为 10eV 和 1.0MeV, 则原子和原子核的线度的大小为_____和_____。
8. 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_____。
9. 某二价原子的两个价电子处于 2s3d 组态, 按 jj 耦合法, 可构成的原子态个数为_____个, 其总角动量量子数 J 的值分别为_____。
10. 假定金核 ($Z=79$) 的半径为 7.0fm, 则 α 粒子的动能至少为_____, 才能在对心碰撞时, 刚好达到金核的表面。

三. 计算题(共 5 题, 共有 63 分)

1. 利用量子力学结果, 试计算氢原子主量子数 $n=3$ 时磁矩可能的值。
2. 一束窄的铯原子束(处于基态)以 $v=500\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$



的速度穿过长度为 $d_1=10\text{cm}$ 的横向非均匀磁场, 在离开磁铁的距离 $d_2=20\text{cm}$ 处的屏上观察到原子束分裂为两束, 屏上两分束的间距 $\Delta z=4\text{mm}$, 求作用在铯原子上的力 F_z 。已知铯原子的原子量为 133, $1u=1.66\times 10^{-27}\text{kg}$ 。

3. 锂的第一激发态跃迁到基态的谱线是由 λ_1 为 6707.95\AA 和 λ_2 为 6707.80\AA 两谱线组成的。试问当磁感应强度为多大时, 它们在磁场中分裂的 $\Delta m = \pm 1$ 成分之间的间隔将是 λ_1 与 λ_2 间隔的 10 倍? 这时在磁场中发生的是正常塞曼效应、反常塞曼效应还是帕邢-巴克效应? (三位有效数字)
4. 对于钠原子, 试计算 $n=200$ 时的结合能、轨道半径、电子轨道速度和相邻能级间隔。
5. 钨的 K 吸收限为 0.0178nm , K 线系的平均波长 $\lambda_{k\alpha}$ 为 0.0211nm , $\lambda_{k\beta}$ 为 0.0184nm , $\lambda_{k\gamma}$ 为 0.0179nm 。

- (1) 试画出钨的 X 射线能级简图；
 (2) 若用高压为 80kV 的 X 射线管产生的辐射照在钨上，利用能级图计算从 K,L 和 M 壳层击出的电子的最大动能；
 (3) 若用 80keV 的光子照射钨，则从 N 壳层到 $n = \infty$ 之间各层击出的电子的动能范围为多大？

常数表

普朗克常数	$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s} = 4.136 \times 10^{-15} \text{eV}\cdot\text{s}$
基本电荷	$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{C}$
复合常数	$hc = 1240 \text{eV}\cdot\text{nm}$
电子质量	$m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{kg} = 0.511 \text{MeV}/c^2$
中子质量	$m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{kg} = 938 \text{MeV}/c^2$
玻尔半径	$a_0 = 0.529 \times 10^{-10} \text{m}$
复合常数	$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} = 1.44 \text{eV}\cdot\text{nm}$

里德堡常数	$R_\infty = 1.097 \times 10^7 \text{m}^{-1}$
阿伏伽德罗常数	$N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$
玻耳兹曼常数	$k = 1.380 \times 10^{-23} \text{J}\cdot\text{K}^{-1} = 8.617 \times 10^{-5} \text{eV}\cdot\text{K}^{-1}$
质子质量	$m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{kg} = 938 \text{MeV}/c^2$
玻尔磁子	$\mu_B = 9.274 \times 10^{-24} \text{J}\cdot\text{T}^{-1} = 5.788 \times 10^{-5} \text{eV}\cdot\text{T}^{-1}$
原子质量单位	$u = 1.66 \times 10^{-27} \text{kg} = 931 \text{MeV}/c^2$

科目名称:	原子物理
一. 选择题(共 10 题, 共有 40 分, 每题为 4 分)	
1. B	
提示:	
$\because L=0 \quad \therefore g=2$ $B = \frac{h\nu}{g\mu_B} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \times 1.40 \times 10^{10}}{2 \times 9.274 \times 10^{-24}} \text{ T} \approx 0.500 \text{ T}$	
2. B	
3. B (提示: $\nu_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{\mu}}$, 零点能: $h\nu_0/2$)	
4. C	
5. B	
6. D	
7. C	
8. C	
9. B	
10. C	
二. 填空题(共 10 题, 共有 47 分)	
1. $1^2S_{1/2}; n^2P_{1/2}; n^2P_{3/2};$ 双线; K 。	----(5 分)
2. 8 (2 分); 6 (2 分)	----(4 分)
3. 转动;	----(3 分)
4. 2 (1 分); 3 (1.5 分); 6 (1.5 分); 电子自旋-轨道耦合及相对论效应 (1 分)。	----(5 分)
5. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^5 5s$ (2 分); 42 (1 分); 7S_3 (2 分)。	----(5 分)
6. $\lambda_e = 0.012 \text{ nm}$ (3 分); $\lambda_p = 0.00029 \text{ nm}$ (3 分)。	----(6 分)
提示: $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}} = \frac{1.226}{\sqrt{U}}$	
7. 对于原子, 有	
$\Delta x = \frac{\hbar}{\sqrt{2m\Delta E}} = \frac{1.05 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 9.1 \times 10^{-31} \times 10 \times 1.6 \times 10^{-19}}} \text{ m} = 6.2 \times 10^{-11} \text{ m}$	(3 分)

对于核子,有

$$\Delta x = \frac{1.05 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 1.7 \times 10^{-27} \times 1.0 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}}} \text{m} = 4.6 \times 10^{-15} \text{m} \quad (3 \text{分})$$

----(6分)

若分子上取为 $\hbar/2$, 相应的答案为: $3.1 \times 10^{-11} \text{m}$ 和 $2.3 \times 10^{-15} \text{m}$, 也算对。

若分子上取为 \hbar , 相应的答案为: $1.9 \times 10^{-10} \text{m}$ 和 $1.4 \times 10^{-14} \text{m}$, 也算对。

8. 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。 ----(3分)

9. 4 (1分); 1、2, 2、3 (各2分)

----(5分)

10. 33MeV

----(5分)

三. 计算题(共5题, 共有63分)

1. 解:

$n=3 \quad l=0, 1, 2 \quad s=1/2$ (2分)

可构成原子态: $^2S_{1/2}, ^2P_{1/2, 3/2}, ^2D_{3/2, 5/2}$. (3分, 各1分)

$$\therefore g = 1 + \frac{J(J+1) - L(L+1) + S(S+1)}{2J(J+1)} \quad (2 \text{分})$$

$$\mu_J = g \sqrt{J(J+1)} \mu_B, \quad (2 \text{分})$$

$$^2S_{1/2}: S = \frac{1}{2}, L = 0, J = \frac{1}{2}, g = 2, \mu_J = 2 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \mu_B = \sqrt{3} \mu_B \quad (1 \text{分})$$

$$^2P_{1/2}: S = \frac{1}{2}, L = 1, J = \frac{1}{2}, g = \frac{2}{3}, \mu_J = \frac{2}{3} \times \frac{\sqrt{3}}{2} \mu_B = \frac{\sqrt{3}}{3} \mu_B \quad (1 \text{分})$$

$$^2P_{3/2}: S = \frac{1}{2}, L = 1, J = \frac{3}{2}, g = \frac{4}{3}, \mu_J = \frac{4}{3} \times \frac{\sqrt{15}}{2} \mu_B = \frac{2}{3} \sqrt{15} \mu_B \quad (1 \text{分})$$

$$^2D_{3/2}: S = \frac{1}{2}, L = 2, J = \frac{3}{2}, g = \frac{4}{5}, \mu_J = \frac{4}{5} \times \frac{\sqrt{15}}{2} \mu_B = \frac{2}{5} \sqrt{15} \mu_B \quad (1 \text{分})$$

$$^2D_{5/2}: S = \frac{1}{2}, L = 2, J = \frac{5}{2}, g = \frac{6}{5}, \mu_J = \frac{6}{5} \times \frac{\sqrt{35}}{2} \mu_B = \frac{3}{5} \sqrt{35} \mu_B \quad (1 \text{分})$$

----(14分)

2. 解:

(1) Cs 原子基态的原子态为 $^2S_{1/2}$, 总角动量 $J=1/2$ $M=\pm 1/2$ $g=2$ (1分)

$$F_z = \mu_z \frac{\partial B}{\partial z} = g M \frac{\partial B}{\partial z} \mu_B = \mp \frac{\partial B}{\partial z} \mu_B \quad (1 \text{分})$$

(2) $t_1 = d_1/v$ (1分)

$t_2 = d_2/v$ (1分)

(3)

$$\frac{\Delta z}{2} = \frac{at^2}{2} + at_1 t_2 \quad (2 \text{分})$$

$$= \frac{|F_z|}{M_c} \left(\frac{1}{2} \frac{d_1^2}{v^2} + \frac{d_1 d_2}{v^2} \right) = \frac{|F_z|}{M_c} \frac{d_1}{v^2} \left(\frac{1}{2} d_1 + d_2 \right) \quad (2 \text{分})$$

科目名称:

原子物理

共4页 第2页

(4)

$$|F_z| = \frac{\Delta z}{2} M_c \frac{v^2/d_1}{\frac{1}{2}d_1 + d_2} = \frac{\Delta z M_c v^2}{d_1(d_1 + 2d_2)} \quad (1 \text{分})$$

$$= 4.44 \times 10^{-21} \text{ N} \quad (1 \text{分})$$

----(10 分)

3 解:

$\because \sigma$ 成分间隔为 λ_1 与 λ_2 间隔的 10 倍, \therefore 这是帕邢-巴克效应 (3 分)

$$\therefore \Delta\left(\frac{1}{\lambda}\right) = (-1, 0, 1)L \quad (2 \text{分})$$

σ 成分间隔为 $2L$ (2 分)

$$\therefore 10\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right) = 2L = \frac{eB}{2\pi mc} \quad (2 \text{分})$$

$$\therefore B = \frac{20\pi mc}{e} \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right) \quad (2 \text{分})$$

$$= \frac{20\pi \times 9.109 \times 10^{-31} \times 2.998 \times 10^8}{1.602 \times 10^{-19}} \times \left(\frac{1}{6707.80} - \frac{1}{6707.95}\right) \times 10^{10} \text{ T}$$

$$\approx 3.57 \text{ T} \quad (1 \text{分})$$

----(12 分)

4. 解:

$$|E_n| = R_H hc/n^2 = 13.6/200^2 = 3.4 \times 10^{-4} \text{ eV} \quad (3 \text{分})$$

$$r_n = a_0 n^2 = 5.29 \times 10^{-2} \times 200^2 = 2.1 \times 10^3 \text{ nm} \quad (3 \text{分})$$

$$V_n = V_1/n = \frac{3 \times 10^8}{137 \times 200} = 1.1 \times 10^4 \text{ ms}^{-1} \quad (3 \text{分})$$

$$\Delta E = E_{n+1} - E_n = \frac{2R_H hc}{n^3} = \frac{2 \times 13.6}{200^3} = 3.4 \times 10^{-6} \text{ eV} \quad (3 \text{分})$$

----(12 分)

5. 解:

设 $K, L, M \dots$ 能级的能量分别为 $E_1, E_2, E_3 \dots$, 而 $E_\infty = 0$ 。

(1) K 吸收限为 0.0178 nm , 可知 K 电子的电离能

$$|E_1| = \frac{hc}{\lambda_1} = \frac{1.24 \text{ keV} \cdot \text{nm}}{0.0178 \text{ nm}} = 69.7 \text{ keV} \quad (2 \text{分})$$

所以 $E_1 = -69.7 \text{ keV}$, 由 $\lambda_{K\alpha} = 0.0211 \text{ nm}$ 可知 K, L 能级的间距为

$$E_2 - E_1 = \frac{hc}{\lambda_{K\alpha}} = \frac{1.24}{0.0211} = 58.8 \text{ (keV)} \quad (1 \text{分})$$

$$\therefore E_2 = E_1 + 58.8 = -10.9 \text{ (keV)} \quad (1 \text{分})$$

$$\text{同理: } E_3 = E_1 + hc/\lambda_{K\beta} = -69.7 + 1.24/0.0184 = -2.3 \text{ (keV)} \quad (1 \text{分})$$

$$E_4 = E_1 + hc/\lambda_{K\gamma} = -69.7 + 1.24/0.0179 = -0.4 \text{ (keV)} \quad (1 \text{分})$$

据此即可作出钨的 X 射线能级图(下图):

(1 分)

$E(\text{eV})$	n
0	∞
-0.4	4 (N)
-2.3	3 (M)
-10.9	2 (L)
-69.7	1 (K)

钨原子 X 射线能级简图

(2) $V = 80\text{kV}$ 时连续谱光子的最大能量:

$$E_\gamma = e \cdot V = 80\text{keV} \quad (1 \text{ 分})$$

因而从各个壳层击出的光电子最大动能:

$$K \text{ 层: } E_{e_1} = E_\gamma - |E_1| = 80 - 69.7 = 10.3(\text{keV}) \quad (1 \text{ 分})$$

$$L \text{ 层: } E_{e_2} = E_\gamma - |E_2| = 80 - 10.9 = 69.1(\text{keV}) \quad (1 \text{ 分})$$

$$M \text{ 层: } E_{e_3} = E_\gamma - |E_3| = 80 - 2.3 = 77.7(\text{keV}) \quad (1 \text{ 分})$$

(3) 同理从 N 壳层击出的光电子动能: $E_{e_4} = E_\gamma - |E_4| = 80 - 0.4 = 79.6(\text{keV})$

(1 分)

当 n 很大时, 电子的结合能忽略不计, 光电子的动能为

$$E_e(n = \infty) = E_\gamma = 80\text{keV} \quad (1 \text{ 分})$$

所以从 N 层以外各层击出的光电子动能范围为 $79.6 \sim 80\text{keV}$

(2 分)

注: 若给的是原子在失去一个内层电子时能量的 X 射线能级图, 同样也是正确的。

----(15 分)