

第五章 多电子原子：泡利原理 补充习题

一、选择题

1. 泡利不相容原理说：（ D ）

- A. 自旋为整数的粒子不可能处于同一量子态中
- B. 自旋为整数的粒子能处于同一量子态中
- C. 自旋为半整数的粒子能处于同一量子态中
- D. 自旋为半整数的粒子不能处于同一量子态中

在一组由全同粒子组成的体系中，如果在体系的一个量子态（即由一套量子数所确定的微观状态）上只容许容纳一个粒子，这种粒子称为费米子。或者说自旋为半整数（ $1/2, 3/2, \dots$ ）的粒子统称为费米子，服从费米-狄拉克统计。费米子满足泡利不相容原理，即不能两个以上的费米子出现在相同的量子态中。轻子，核子和超子的自旋都是 $1/2$ ，因而都是费米子。自旋为 $3/2, 5/2, 7/2$ 等的共振粒子也是费米子。中子、质子都是由三种夸克组成，自旋为 $1/2$ 。

2. 下列粒子中不服从泡利不相容原理的是：（ B ）

- A. 质子
- B. 光子
- C. 中子
- D. 电子

费米子是自旋量子数为半整数的粒子（如电子，质子，中子等），满足泡利原理；而玻色子是自旋量子数为整数的粒子（如光子， π 介子等），不满足泡利原理。

3. 单个 d 电子的总角动量数可能值为：（ D ）

- A. 2, 3
- B. 3, 4
- C. $5/2, 7/2$
- D. $3/2, 5/2$

单个 d 电子， $l=2, s=1/2, j=l \pm s = 2 \pm 1/2 = 5/2, 3/2$

4. 在 $L-S$ 耦合下，两个等价 p 电子能形成的原子态是：（ C ）

- A. $^1D, ^3D$;
- B. $^1P, ^1D, ^3P, ^3D$;
- C. $^1D, ^3P, ^1S$;
- D. $^1D, ^3D, ^1P, ^3P, ^1S, ^3S$

根据同科电子耦合的偶数规则：即 $L+S =$ 偶数，

对于 p 电子， $l_1=l_2=1, s_1=s_2=1/2 \rightarrow L=2, 1, 0, S=1, 0$

当 $S=0$ 时， $L=0, 2$ ，对应原子态为 $^1S_0, ^1D_2$ ；当 $S=1$ 时， $L=1$ ，对应原子态为 $^3P_{2,1,0}$

5. 处于 $L=3, S=2$ 原子态的原子，其总角动量量子数 J 的可能取值为：（ B ）

- A. 3, 2, 1;
- B. 5, 4, 3, 2, 1;
- C. 6, 5, 4, 3;
- D. $5/2, 4/2, 3/2, 2/2, 1/2$

$J = L+S, L+S-1, \dots, |L-S|, J_{\max} = L+S = 5, J_{\min} = L-S = 1, J = 5, 4, 3, 2, 1$

6. 设原子的两个价电子是 p 电子和 d 电子, 在 $L-S$ 耦合下可能的原子态有: (C)
 A. 4 个; B. 9 个; C. 12 个; D. 15 个

对于 p 电子, $l_1=1, s_1=1/2$, 对于 d 电子, $l_2=2, s_2=1/2$, 所以 $L=3, 2, 1; S=1, 0$

当 $S=0$ 时, $L=3, 2, 1$ 对应的原子态分别为 $^1F_3, ^1D_2, ^1P_1$;

当 $S=1$ 时, $L=3, 2, 1$ 对应的原子态分别为 $^3F_{4,3,2}, ^3D_{3,2,1}, ^3P_{2,1,0}$;

7. 满壳层或满次壳层电子组态相应的原子态是: (B)

A. 3S_0 B. 1S_0 C. 3P_0 D. 1P_1

8. 镁原子 ($Z=12$) 处于基态时价电子的电子组态及基态原子态应是: (C)

A. $2s2s, ^1S_0$; B. $2s2p, ^3P_0$; C. $3s3s, ^1S_0$; D. $3s3p, ^3P_0$

镁原子 ($Z=12$) 处于基态时价电子的电子组态: $1s^2 2s^2 2p^2 3s^2$, $3s^2$ 满次壳层, 基态原子态为 1S_0

9. 氩 ($Z=18$) 原子基态的电子组态及原子态是: (A)

A. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6, ^1S_0$ B. $1s^2 2s^2 2p^6 2p^6 3d^8, ^3P_0$

C. $1s^2 2s^2 2p^6 3p^8, ^1S_0$ D. $1s^2 2s^2 2p^6 3p^4 3d^2, ^2D_{1/2}$

10. 由壳层结构理论和洪德定则可知, 氯原子 ($Z=17$) 基态时的原子态应是: (B)

A. $^2P_{1/2}$; B. $^2P_{3/2}$; C. $^4P_{1/2}$; D. $^4P_{3/2}$

氯原子的电子组态为: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$, $3p^5$ 与 $3p^1$ 互补, 所得原子态相同, 对于 p 电子,

$L=1, S=1/2, J=3/2, 1/2$, 对应原子态为: $^2P_{3/2, 1/2}$, 由洪特定则, 最外层同科 p 电子数为 5,

而 p 壳层半满数为 3, 超过半满, J 反常序, $J=L+S=3/2$, 基态原子态为: $^2P_{3/2}$

11. 碳原子 ($C, Z=6$) 的基态谱项为 (A)

A. 3P_0 ; B. 3P_2 ; C. 3S_1 ; D. 1S_0

碳原子的电子组态为 $1s^2 2s^2 2p^2$, 排除满壳层后, 剩下 $2p^2$ 组态, 两个 2p 电子属于同科电子, 故满足 $L-S$ 耦合的偶数定则, 即 $L+S=$ 偶数。对于 2p 电子 $l_1=l_2=1, s_1=s_2=1/2$; 所以 $L=2, 1, 0, S=1, 0$; 当 $S=1$ 时, $L=1$, 对应的原子态为 $^3P_{2,1,0}$, 依据洪特定则: 当某原子态具有的 S 最大时, 它所处的能级位置最低; 对同一个 S , 又以 L 值大的为最低; 对同科电子, 同一个 L 值而 J 值不同的诸能级的次序, 当同科电子数小于或等于闭壳层占有数的一半时, 具有最小 J 值 (即 $|L-S|$) 的能级处在最低, 称为正常次序; 当同科电子数大于闭壳层占有数的一半时, 则具有最大 J 值 (即 $|L+S|$) 的能级处在最低, 称为倒转次序。碳原子最外次壳层同科电子数为 2, 小于 p 壳层半满数 3, $J=0$, 基态为 3P_0 。

二、填空题

1. 电子填充壳层的原则泡利不相容原理、能量最低原理。
2. 泡利不相容原理可表述为：在一个原子中，不可能有两个或两个以上的电子具有完全相同的状态。它只对费米子适用，而对玻色子不适用。
3. 按照角动量 $L-S$ 耦合模型，如 $L=1, S=1$ ，则 J 的可能取值为 2, 1, 0，相应的原子态符号为 ${}^3P_{2+0}$ 。