

原子物理期末出题及答案

1. 考察泡利不相容原理

(1) 请简要表述泡利不相容原理的内容

答案 1: 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四个量子数如(n,l,m,m_s)

答案 2: 原子中的每一个状态只能容纳一个电子

答案 3: 在费米子(自旋为半整数的粒子)组成的系统中不能有两个或多个粒子处于完全相同的状态。

合理即可

(2) 电子属于玻色子还是费米子? 自旋是整数还是半整数? 本征值为正还是负?

费米子, 半整数, 负

(3) 为什么对于 He 来说, 三重态的能级总低于单态? ($1s1s$) 3S_1 态不存在?

三重态的能级总低于单态: 电子是相互排斥的, 空间距离越大, 势能越低, 体系越稳定。所以同一组态的原子态中, 三重态能级总低于单态

($1s1s$) 3S_1 态不存在:

- 对于($1s1s$) 3S_1 态: n, l, m_l 相同, s_1 和 s_2 同向(自旋平行)
 $\Rightarrow m_s$ 相同 \Rightarrow 违反了泡利不相容原理
 \Rightarrow 这个状态是不存在的

(4) 如何用泡利不相容原理解释: 加热不能使金属内层电子获得能量

内层轨道(如 $1s$)的所有量子态已被电子填满, 若内层电子想在同层内跃迁(如 $1s \rightarrow 1s$), 因目标量子态已被占据, 泡利不相容原理禁止这种跃迁。

内层电子(如 $1s$)若要跃迁到外层空轨道(如 $n=2$ 或更高), 需吸收的能量等于两层能级的能量差。由于内层能级与外层能级的能量差极大(如氢原子 $1s \rightarrow 2s$ 的能级差约为 10.2 eV), 而加热提供的能量(通常仅 $0.01 \sim 1 \text{ eV}$)远不足以满足该需求。

简单来说, 按照泡利不相容原理, 金属内部电子附近轨道都被填满, 除非得到很大能量, 跳到最外层而加热一万度才相当于一个电子伏特, 所以除了外层的几个电子, 能量都被金属晶格得到使晶格骨架融化了

2. 考察斯莱特图、电子组态、能级分裂

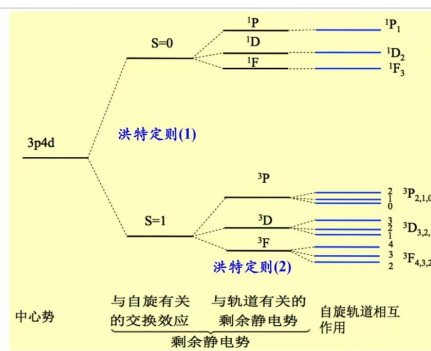
(1) 请用斯莱特图解法列出 np^3 组态服从泡利不相容原理的所有电子组态, 并根据对称性分配组态给不同的原子态。

np^3 组态 $M_S = -\frac{3}{2}$ 和 $M_S = -\frac{1}{2}$ 情况类似同下。

M_S	M_L	泡利不相容原理所允许的 m_l 和 m_s 组合	(M_L, M_S) 状态数目
3/2	3		0
3/2	2		0
3/2	1		0
3/2	0	(1,+; 0,+; -1,+)	1
3/2	-1		0
3/2	-2		0
3/2	-3		0
1/2	3		0
1/2	2	(1,+; 1,-; 0,+)	1
1/2	1	(0,+; 0,-; 1,+; -1,+; 1,-; 1,+)	2
1/2	0	(0,+; 1,+; -1,-; 0,-; 1,+; -1,+; 0,+; 1,-; -1,-)	3
1/2	-1	(0,+; 0,-; -1,-; -1,+; -1,-; 1,+)	2
1/2	-2	(-1,+; -1,-; 0,-)	1
1/2	-3		0

(2) 画出 $3p4d$ 电子的能量分裂图

例：3p4d电子的能量分裂



3.考察 X 射线及实验

(1) 请说明 X 射线谱中特征峰的产生机理

原子中的电子处在一系列的分立能级或壳层上。高能电子轰击靶原子时，发生二个过程：

(a)原子激发:激发原子内壳层能级上的一个电子,而在该能级上留下一个空穴。

(b)退激发:外壳层上的电子跃迁到这个空穴中，多余能量作为 X 射线发射出去。

(2) 简要说明莫塞莱定律，并说出一个可能的应用

各元素的相应谱线的频率 ν 的平方根与元素的原子序数 Z 成正比，即 $\sqrt{\frac{\nu}{R}} = a(Z - \sigma)$, 其中

R 为里德伯常数， σ 为对核电荷的屏蔽常数， a 代表直线的斜率，与壳层选取有关。

应用：反推元素的原子序数 Z ，从而确定元素种类。合理即可

(3) 简要解释 X 射线吸收限出现的原因，并列举 2 个和吸收限相关的应用

吸收限主要是由光电效应引起的:当 x 射线的光子能量正好等于原子中某一壳层的能量就激发出一个该壳层的电子，x 射线被吸收，产生光电效应。使吸收系数 μ 突变性增大

应用：a. 运用“通带”过滤片筛选某些光强的 X 射线 b. 心血管造影术 合理即可

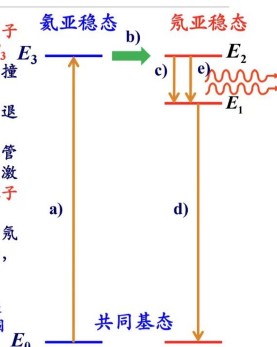
4. 激光

氦-氖激光器如何实现布居反转？可结合图进行描述

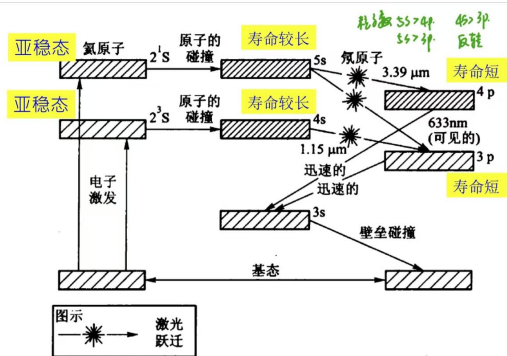
氦-氖激光器中粒子数反转的实现

- 电流通过氦-氖气体使氦与电流中的电子碰撞，将氦激发到寿命较长的亚稳态 E_3 。
- 氦的 E_3 与氖的 E_2 能量很接近，两者碰撞将氖激发到寿命较长的亚稳态 E_2 。
- 在 E_2 上的氖通过自发发射，产生光子退激到 E_1 上。
- 氖在 E_1 上寿命比在 E_3 短，在 E_1 的氖与管壁碰撞发生“无辐射跃迁”，迅速退激回到基态，造成 $N_2 > N_1$ ，实现了粒子数布居反转。
- 在过程 c) 产生的光子可以使在 E_2 上的氖发生受激辐射，产生能量相同的光子，实现了光子数倍增。

*无辐射跃迁：不发射光子的退激发过程。处于激发态的原子把能量以热运动方式传给周围原子，或转为分子振动。



氦氖激光系统的能级图



5.放射性

考虑连续衰变 $A \rightarrow B \rightarrow C$ ，且 A 核的寿命远大于 B 核，请用计算说明 A 核和 B 核会形成久期平衡。

连续衰变规律，以两代衰变 ($A \rightarrow B \rightarrow C$) 为例

B 一方面衰变为 C，一方面又不断从 A 处获得补充，B 的衰变规律与 λ_A 和 λ_B 有关，因此它的核素在单位时间内的变化是：

$A \rightarrow B \rightarrow C$

$$\frac{dN_B}{dt} = \lambda_A N_A - \lambda_B N_B$$

而 A 的核素 N_A ：

$$N_A = N_{A0} e^{-\lambda_A t}$$

$$N_B = N_{A0} \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t})$$

子体 B 的变化与母体 A 的衰变常数也有关

如果 $\lambda_A \ll \lambda_B$ ，即 $\tau_A \gg \tau_B$ ，当 $t \gg \tau_B$ 时：

$$N_B = N_{A0} \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}) \approx N_{A0} \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} e^{-\lambda_A t}$$

子体与母体具有相同的衰变规律

$$N_B \approx N_{A0} \frac{\lambda_A}{\lambda_B} e^{-\lambda_A t} = \frac{\lambda_A}{\lambda_B} N_A$$

因而 $\lambda_A N_A = \lambda_B N_B$

这时子核将按母核的衰变规律衰变。这一个重要结论启示人们保存短寿命核素的一个方法。

母体放射性活度与子体相同，称为久期平衡