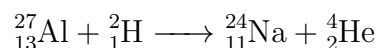


题目一

人工放射性同位素制备、活度计算与衰变规律探究

人工放射性同位素可通过带电粒子轰击稳定靶核获得，产物核素一方面不断生成，同时又自发衰变。考虑如下核反应：稳定核素 $^{27}_{13}\text{Al}$ 被氘核 ^2_1H 轰击发生核反应，生成放射性核素 $^{24}_{11}\text{Na}$ ，核反应方程为：



^{24}Na 发生 β^- 衰变，遵循指数衰变规律。

已知：

1. 核素 ^{24}Na 恒定生成速率： $P = 2.4 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$ ；
 2. ^{24}Na 半衰期： $T_{1/2} = 15.0 \text{ h}$ ；
 3. 忽略靶核消耗、次级核反应、核素逃逸等次要因素；
- (1) 推导放射性核素辐照生长公式，计算持续辐照 $t = 30 \text{ h}$ 时，靶中 ^{24}Na 的原子核数及对应放射性活度；
- (2) 结合计算结果，分析 ^{24}Na 活度随辐照时间的演化规律，并讨论其对实际生产的启示。

参考答案

辐照过程中, ^{24}Na 恒定生成, 同时自发衰变, 核数变化满足微分方程:

$$\frac{dN(t)}{dt} = P - \lambda N(t)$$

初始条件: $t = 0, N(0) = 0$ 。

求解一阶线性常微分方程, 得核数生长公式与活度公式:

$$N(t) = \frac{P}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}), \quad A(t) = \lambda N(t) = P (1 - e^{-\lambda t})$$

(1) 辐照30h核数与活度计算

计算衰变常数

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{15.0 \times 3600} \approx 1.283 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

$$t = 30 \text{ h} = 1.08 \times 10^5 \text{ s}, \quad \lambda t \approx 1.283 \times 10^{-5} \times 1.08 \times 10^5 \approx 1.386$$

$$e^{-\lambda t} \approx e^{-1.386} \approx 0.25$$

计算核数与活度

$$N(t) = \frac{2.4 \times 10^6}{1.283 \times 10^{-5}} (1 - 0.25) \approx 1.403 \times 10^{11}$$

$$A(t) = 2.4 \times 10^6 \times (1 - 0.25) = 1.8 \times 10^6 \text{ Bq} = 1.8 \text{ MBq}$$

(2) 活度演化规律分析

随着 ^{24}Na 不断积累, 衰变速率持续增大, 生成与衰变的净增长速率不断减小, 活度增长放缓; 最终生成速率与衰变速率平衡, 活度趋于饱和, 不再随时间变化。人工辐照制备放射性核素整体上为指数趋近饱和的过程, 当 $t \geq 3T_{1/2}$ 后, 增加就很缓慢了, 用同样人力物力得到的效果越来越少; $t \geq 5T_{1/2}$ 后基本已达饱和, 继续反应已没有什么用处, 因此实际生产中需根据使用要求和经济效益作统筹考虑。

题目二

题目: 分析 np^2 同科电子组态的LS耦合原子态, 并利用洪德定则判断该组态的能量最低基态。

- (1) 按照LS耦合, 考虑泡利不相容原理, 写出 np^2 组态所能形成的原子态;
- (2) 依据洪德定则, 判定该组态的基态, 说明判定依据。

参考答案

(1) np^2 组态合法原子光谱项

np^2 为同科电子, 单电子角动量 $l_1 = l_2 = 1$, $s_1 = s_2 = \frac{1}{2}$ 。

1. 耦合取值: 自旋 $S = 0, 1$, 轨道 $L = 0, 1, 2$; 2. 费米子总波函数需反对称: 自旋单态($S = 0$, 反对称)匹配对称空间波函数 ($L = 0, 2$), 自旋三重态($S = 1$, 对称)匹配反对称空间波函数 ($L = 1$); 3. 剔除泡利禁戒态后, 合法光谱项为:

$$^1S_0, ^1D_2, ^3P_{0,1,2}$$

(2) 基态光谱项判定

根据洪德定则: 1. 给定电子组态, 原子态的S越大, 能量越低: 三重态 3P 能量低于单重态; 2. np^2 为小于半满组态, 同一多重度、轨道角动量下, J 越小能量越低; 3. 3P 态 $L = 1, S = 1$, 可取 $J = 0, 1, 2$, 取最小值 $J = 0$ 。

因此, 该组态能量最低基态为: 3P_0 。