

辐射防护及保健物理

2022011090 司书屹

2025 年 3 月 7 日

第二次作业

1. 氡-222 的平衡体积计算

在标准状况下，氡-222 的摩尔体积为 22.4 L/mol，与镭-226 放射平衡时活度相等。镭-226 半衰期 1600 年，0.1 g 镭-226 的活度计算如下：

$$\lambda_{226\text{Ra}} \approx 1.37 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}, \quad N_0 \approx 2.66 \times 10^{20}, \quad A \approx 3.64 \times 10^9 \text{ Bq}$$

氡-222 半衰期 3.82 天，核数和体积：

$$\lambda_{222\text{Rn}} \approx 2.1 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}, \quad N_{222\text{Rn}} \approx 1.73 \times 10^{15}, \quad V \approx 6.43 \times 10^{-8} \text{ L}$$

2. 硝酸钾样品中的放射性强度计算

硝酸钾中钾的质量分数约 38.6%，K-40 含量 0.0118%，半衰期 1.27×10^9 a。100 g 样品中 K-40 的核数：

$$m_{40\text{K}} \approx 0.00455 \text{ g}, \quad N \approx 6.87 \times 10^{19}$$

衰变常数和放射性强度：

$$\lambda \approx 1.73 \times 10^{-17} \text{ s}^{-1}, \quad A \approx 1188.97 \text{ Bq}$$

3. 氡-222 平衡当量浓度的推导

平衡当量浓度 c_{eq} 定义为一个不平衡的氡子体混合物，其总 α 潜能浓度与处于放射平衡的短寿命子体混合物的 α 潜能浓度相等时，平衡混合物中每个子体的放射性浓度。单位为 Bq/m³。

不考虑分支比较小的分支衰变，从 ^{222}Rn 出发的主要衰变链为 $^{222}\text{Rn} \rightarrow ^{218}\text{Po} \rightarrow ^{214}\text{Pb} \rightarrow ^{214}\text{Bi} \rightarrow ^{214}\text{Po} \rightarrow ^{210}\text{Pb}$ ，子体中 ^{218}Po (6.0 MeV) 和 ^{214}Po (7.68 MeV) 直接发射 α 粒子， ^{214}Po 半衰期极短 (164.3 μs)，其浓度忽略。

对于平衡混合物，各子体 (^{218}Po 、 ^{214}Pb 、 ^{214}Bi) 活度浓度相等，记为 c_{eq} 。 α 潜能浓度为：

$$c_{p-eq} = c_{\text{eq}} \cdot \left(\frac{13.68}{\lambda_{^{218}\text{Po}}} + \frac{7.68}{\lambda_{^{214}\text{Pb}}} + \frac{7.68}{\lambda_{^{214}\text{Bi}}} \right)$$

对于不平衡混合物， ^{218}Po 、 ^{214}Pb 、 ^{214}Bi 的活度分别为 $c(^{218}\text{Po})$ 、 $c(^{214}\text{Pb})$ 、 $c(^{214}\text{Bi})$ ， α 潜能浓度为：

$$c_{p-neq} = \frac{13.68}{\lambda_{^{218}\text{Po}}} \cdot c(^{218}\text{Po}) + \frac{7.68}{\lambda_{^{214}\text{Pb}}} \cdot c(^{214}\text{Pb}) + \frac{7.68}{\lambda_{^{214}\text{Bi}}} \cdot c(^{214}\text{Bi})$$

平衡条件 $c_{p-eq} = c_{p-neq}$ ：

$$c_{\text{eq}} \cdot \left(\frac{13.68}{\lambda_{^{218}\text{Po}}} + \frac{7.68}{\lambda_{^{214}\text{Pb}}} + \frac{7.68}{\lambda_{^{214}\text{Bi}}} \right) = \frac{13.68}{\lambda_{^{218}\text{Po}}} \cdot c(^{218}\text{Po}) + \frac{7.68}{\lambda_{^{214}\text{Pb}}} \cdot c(^{214}\text{Pb}) + \frac{7.68}{\lambda_{^{214}\text{Bi}}} \cdot c(^{214}\text{Bi})$$

解出 c_{eq} ：

$$c_{\text{eq}} = \frac{\frac{13.68}{\lambda_{^{218}\text{Po}}} \cdot c(^{218}\text{Po}) + \frac{7.68}{\lambda_{^{214}\text{Pb}}} \cdot c(^{214}\text{Pb}) + \frac{7.68}{\lambda_{^{214}\text{Bi}}} \cdot c(^{214}\text{Bi})}{\frac{13.68}{\lambda_{^{218}\text{Po}}} + \frac{7.68}{\lambda_{^{214}\text{Pb}}} + \frac{7.68}{\lambda_{^{214}\text{Bi}}}}$$

代入衰变常数：

$$\frac{13.68}{\lambda_{^{218}\text{Po}}} \approx \frac{13.68}{3.726 \times 10^{-3}},$$

$$\frac{7.68}{\lambda_{^{214}\text{Pb}}} \approx \frac{7.68}{4.311 \times 10^{-4}},$$

$$\frac{7.68}{\lambda_{^{214}\text{Bi}}} \approx \frac{7.68}{5.805 \times 10^{-4}},$$

总和：

$$\frac{13.68}{\lambda_{^{218}\text{Po}}} + \frac{7.68}{\lambda_{^{214}\text{Pb}}} + \frac{7.68}{\lambda_{^{214}\text{Bi}}} \approx 3671 + 17810 + 13227 \approx 34708,$$

系数：

$$\frac{\frac{13.68}{\lambda_{^{218}\text{Po}}}}{34708} \approx \frac{3671}{34708} \approx 0.106,$$

$$\frac{\frac{7.68}{\lambda_{^{214}\text{Pb}}}}{34708} \approx \frac{17810}{34708} \approx 0.513,$$

$$\frac{\frac{7.68}{\lambda_{^{214}\text{Bi}}}}{34708} \approx \frac{13227}{34708} \approx 0.381,$$

因此：

$$c_{\text{eq}} = 0.106c(^{218}\text{Po}) + 0.513c(^{214}\text{Pb}) + 0.381c(^{214}\text{Bi})$$