

辐射防护及保健物理

司书屹 2022011090

2025 年 3 月 21 日

第四次作业

1. 墨西哥城辐射事故分析

事故概述：1962 年，墨西哥城一名 10 岁男孩在街头发现了一个丢失的钴-60 (^{60}Co) 辐射源（活度为 5 居里），并将其带回家中。辐射源被存放在家中，导致男孩及其家人长时间暴露在高剂量辐射下。最终，男孩及其母亲、父亲和妹妹共 4 人因辐射病死亡，另一名家庭成员幸存但受到严重辐射伤害。

原因分析：

- **辐射源管理不善：**辐射源从其合法使用场所（可能是工业或医疗设备）丢失，未被及时发现或回收。
- **缺乏安全意识：**公众对辐射源的危险性缺乏了解，男孩及其家人不知道捡到的物品是致命的辐射源。
- **监管不足：**当时墨西哥对辐射源的监管体系不完善，未能有效追踪和控制辐射源。

预防措施：

- 建立完善的辐射源追踪和管理系统，确保所有辐射源从生产到处置的全生命周期可控。
- 加强公众教育，通过宣传和培训提高对辐射危害的认识，避免误接触辐射源。
- 完善监管机制，定期检查辐射源的使用和存储情况，制定严格的法律和标准，防止辐射源丢失或遗弃。

2. Po-210 α 粒子在水中的射程计算

已知 Po-210 发射的 α 粒子能量 $E_\alpha = 5.304 \text{ MeV}$ 。对于能量范围 $4 < E < 8 \text{ MeV}$ 的 α 粒子，在空气中的射程经验公式为：

$$R(\text{cm}) = 1.24E(\text{MeV}) - 2.62$$

代入 $E = 5.304 \text{ MeV}$:

$$R = 1.24 \times 5.304 - 2.62 \approx 3.957 \text{ cm}$$

在水中的射程公式为:

$$R_m(\text{mg/cm}^2) = 0.56A^{1/3}R(\text{cm})$$

其中 A 为水的等效原子量。水的分子式为 H_2O , H 的质量数为 1, O 的质量数为 16, 等效原子量按质量的平方根加权计算:

$$A = \frac{2}{3}\sqrt{1} + \frac{1}{3}\sqrt{16} = \frac{2}{3} \times 1 + \frac{1}{3} \times 4 = \frac{2}{3} + \frac{4}{3} = 2$$

$$A^{1/3} = 2^{1/3} \approx 1.26$$

代入公式:

$$R_m = 0.56 \times 1.26 \times 3.957 \approx 2.79 \text{ mg/cm}^2$$

水的密度 $\rho \approx 1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ mg/cm}^3$ 。射程 (单位: cm):

$$R_m(\text{cm}) = \frac{R_m(\text{mg/cm}^2)}{\rho(\text{mg/cm}^3)} = \frac{2.79}{1000} \approx 0.00279 \text{ cm} = 27.9 \mu\text{m}$$

因此, α 粒子在水中的射程约为 $27.9 \mu\text{m}$

3. 辐射损失与电离损失比较

(1) 10 MeV 氦核与 10 MeV 电子的辐射损失率之比:

辐射阻止本领公式:

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{rad}} \propto \frac{z^2 Z^2}{m^2} NE$$

氦核: $z = 1$, 质量 $m_{\text{氦核}} \approx 2 \times 931.5 \text{ MeV}/c^2 \approx 1870 \text{ MeV}/c^2$ 。电子: $z = 1$, 质量 $m_{\text{电子}} \approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$ 。能量 $E = 10 \text{ MeV}$, 铅的 Z 和 N 相同, 辐射损失率之比为:

$$\frac{(dE/dx)_{\text{rad, 氦核}}}{(dE/dx)_{\text{rad, 电子}}} = \left(\frac{m_{\text{电子}}}{m_{\text{氦核}}}\right)^2 \approx \left(\frac{0.511}{1870}\right)^2 \approx 7.47 \times 10^{-8}$$

(2) 20 MeV 电子的辐射损失与电离损失之比:

电离损失与辐射损失的比例为:

$$\frac{(dE/dx)_{\text{col}}}{(dE/dx)_{\text{rad}}} = \frac{800}{ZE}$$

铅的原子序数 $Z = 82$, 电子能量 $E = 20 \text{ MeV}$ 。代入公式:

$$\frac{(dE/dx)_{\text{col}}}{(dE/dx)_{\text{rad}}} = \frac{800}{82 \times 20} = 0.488$$

因此, 辐射损失与电离损失之比为:

$$\frac{(dE/dx)_{\text{rad}}}{(dE/dx)_{\text{col}}} = \frac{1}{0.488} \approx 2.05$$