

# 辐射防护及保健物理

司书屹 2022011090

2025 年 4 月 4 日

## 第六次作业

### 1. 1 MeV 和 0.1 MeV 伽马射线的注量比

已知两束伽马射线（能量分别为 1 MeV 和 0.1 MeV）在空气中产生的电离密度相同，即单位体积空气的能量吸收相等，这意味着吸收剂量  $D$  相等。吸收剂量的定义为：

$$D = \phi \left( \frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} \right) E$$

其中， $\phi$  为粒子注量， $\frac{\mu_{\text{en}}}{\rho}$  为质量能量吸收系数， $E$  为光子能量。由于  $D_1 = D_{0.1}$ ，可得：

$$\phi_1 \left( \frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} \right)_1 E_1 = \phi_{0.1} \left( \frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} \right)_{0.1} E_{0.1}$$

因此，注量比为：

$$\frac{\phi_1}{\phi_{0.1}} = \frac{\left( \frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} \right)_{0.1} E_{0.1}}{\left( \frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} \right)_1 E_1}$$

根据 NIST 数据 ([NIST X-ray Mass Coefficients for Nitrogen](#))，氮（作为空气近似）中的质量能量吸收系数如下：

- 对于 0.1 MeV,  $\left( \frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} \right)_{0.1} = 2.231 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$ ;
- 对于 1 MeV,  $\left( \frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} \right)_1 = 2.792 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$ 。

已知  $E_1 = 1 \text{ MeV}$ ,  $E_{0.1} = 0.1 \text{ MeV}$ ，代入计算：

$$\frac{\phi_1}{\phi_{0.1}} = \frac{(2.231 \times 10^{-2}) \times 0.1}{(2.792 \times 10^{-2}) \times 1} = \frac{2.231 \times 10^{-3}}{2.792 \times 10^{-2}} \approx 0.0799$$

### 2. 照射量 $X$ 与粒子注量 $\phi$ 的关系推导

照射量  $X$  定义为单位质量空气中产生的总电荷与质量之比：

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

吸收剂量  $D$  定义为单位质量物质的平均授予能：

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm} = \phi \left( \frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} \right) E$$

假设所有沉积能量用于产生电子-离子对，产生一个电子-离子对所需的平均能量为  $W$ ，则单位质量内产生的电子-离子对数量为：

$$n = \frac{D}{W}$$

每个电子-离子对携带电荷  $e$ （电子电荷），则总电荷为：

$$dQ = n \cdot e \cdot dm = \frac{D}{W} e \cdot dm$$

代入照射量定义：

$$X = \frac{dQ}{dm} = \frac{D}{W} e$$

将  $D = \phi \left( \frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} \right) E$  代入：

$$X = \frac{\phi \left( \frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} \right) E}{W} e = \phi E \left( \frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} \right) \frac{e}{W}$$

### 3. $^{137}\text{Cs}$ 源在 300 m 处的空气比释动能率

已知  $^{137}\text{Cs}$  源活度  $A = 10 \text{ Ci}$ ，距离  $l = 300 \text{ m}$ ，求空气比释动能率  $\dot{K}_\delta$ 。空气比释动能率常数定义为：

$$\Gamma_\delta = \frac{l^2 \dot{K}_\delta}{A}$$

故：

$$\dot{K}_\delta = \frac{\Gamma_\delta A}{l^2}$$

根据 NISTIR 7092 ([NISTIR 7092](#))， $^{137}\text{Cs}$  的空气比释动能率常数  $\Gamma_\delta$  ( $\delta = 30 \text{ keV}$ ，仅考虑主要伽马射线  $661.7 \text{ keV}$ ) 为  $77.28 \text{ m}^2 \mu\text{Gy/h/GBq}$ 。单位转换： $1 \text{ Ci} = 37 \text{ GBq}$ ， $A = 10 \text{ Ci} = 370 \text{ GBq}$ ，则：

$$\Gamma_\delta = 77.28 \text{ m}^2 \mu\text{Gy/h/GBq}$$

真空中的空气比释动能率：

$$\dot{K}_{\delta, \text{vacuum}} = \frac{\Gamma_\delta A}{l^2} = \frac{77.28 \times 370}{(300)^2} = \frac{28593.6}{90000} \approx 0.3177 \mu\text{Gy/h}$$

考虑空气衰减，指数衰减规律为：

$$\dot{K}_\delta = \dot{K}_{\delta, \text{vacuum}} e^{-\mu l}$$

根据 NIST 数据 ([NIST X-ray Mass Coefficients for Nitrogen](#)), 氮中 0.662 MeV 的质量衰减系数  $\frac{\mu}{\rho} \approx 7.759 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$ 。空气密度  $\rho \approx 1.225 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ , 则:

$$\mu = \left( \frac{\mu}{\rho} \right) \rho = 7.759 \times 10^{-2} \times 1.225 \times 10^{-3} \approx 9.505 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1} = 9.505 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$$

衰减因子:

$$\mu l = 9.505 \times 10^{-3} \times 300 \approx 2.8515$$

$$e^{-\mu l} = e^{-2.8515} \approx 0.0578$$

实际空气比释动能率:

$$\dot{K}_\delta = 0.3177 \times 0.0578 \approx 0.01836 \mu\text{Gy/h} = 1.836 \times 10^{-8} \text{ Gy/h}$$