

エネルギー 2 MeV のガンマ線の強さを 100 万分の 1 (10^{-6}) に減衰させたい。

1. 強度 I_0 , 吸収係数 μ をもつ光子束 (ガンマ線または X 線) の物質通過を考える。厚さ x における強度 $I(x)$ を I_0, μ, x で表す関係式 $I(x) = I_0 \exp(-\mu x)$ を導け。
2. 密度 $\rho = 3.5\text{g/cm}^3$ のコンクリートを使用すれば、どれだけの厚さが必要か計算せよ。
3. 密度 $\rho = 1.0\text{g/cm}^3$ の水を使用すれば、どれだけの厚さが必要か計算せよ。

ただし、2MeV の γ 線に対して質量吸収係数 $\mu_m (\equiv \mu/\rho)$ は物質によらず一定であると近似できる。今、 $\mu_m = 0.048\text{cm}^2/\text{g}$ である。また、 $\log_e 10 = 2.30$ を用いてよい。

(解答例)

1. 強度の変化 dI はそこでの強度 I と新たに通過する距離 dx に比例すると考えて

$$\begin{aligned} -dI &= \mu I dx \quad (dI \text{ はマイナスの値なので}) \\ \Rightarrow \frac{dI}{I} &= -\mu dx \\ \Rightarrow \int \frac{dI}{I} &= \int (-\mu) dx \\ \Rightarrow \log_e I &= -\mu x + \text{constant} \\ \Rightarrow I(x) &= I_0 \exp(-\mu x). \end{aligned} \tag{1}$$

2. 題意より

$$\begin{aligned} \frac{I(x)}{I_0} &= 10^{-6} \\ \Rightarrow \exp(-\mu x) &= 10^{-6} \\ \Rightarrow \mu x &= \log_e(10^6) = 6 \log_e 10. \end{aligned} \tag{2}$$

ここで、コンクリートの吸収係数 $\mu = \rho \mu_m = 3.5\text{g/cm}^3 \times 0.048\text{cm}^2/\text{g} = 0.168\text{cm}^{-1}$ を用いて

$$\begin{aligned} x &= \frac{6 \times 2.3}{0.168\text{cm}^{-1}} \\ &= 82.1\text{cm}. \end{aligned} \tag{3}$$

3. ここで、水の吸収係数 $\mu = \rho \mu_m = 1.0\text{g/cm}^3 \times 0.048\text{cm}^2/\text{g} = 0.048\text{cm}^{-1}$ を用いて

$$\begin{aligned} x &= \frac{6 \times 2.3}{0.048\text{cm}^{-1}} \\ &= 287.5\text{cm}. \end{aligned} \tag{4}$$