

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 $I(x) = I_0 e^{-\mu x}$ 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。
4. 密度 $\rho = 1.3\text{kg/m}^3$ の空気中を通過する場合、どれだけの厚さが必要か計算せよ。
5. 鉛, 水, 空気についての結果より, 何が言えるか記せ。

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 $dI (< 0)$ 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

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

2. 題意より

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

ここで, コンクリートの吸収係数 $\mu = \rho \mu_m = 3.5\text{gcm}^{-3} \times 0.048\text{cm}^2\text{g}^{-1} = 0.168\text{cm}^{-1}$ を用いると, 必要な厚さ x は

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

3. 前問と同様に、水の吸収係数 $\mu = \rho\mu_m = 1.0\text{gcm}^{-3} \times 0.048\text{cm}^2\text{g}^{-1} = 0.048\text{cm}^{-1}$ を用いて

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

4. 前問と同様に、空気の吸収係数 $\mu = \rho\mu_m = 1.3\text{kg/m}^3 \times 0.048\text{cm}^2\text{g}^{-1} = 1.3 \times 10^{-3}\text{g/cm}^3 \times 0.048\text{cm}^{-1} = 0.06 \times 10^{-3}\text{cm}^{-1}$ を用いて

$$\begin{aligned} x &= \frac{6 \times 2.3}{0.06 \times 10^{-3}\text{cm}^{-1}} \\ &= 229,450\text{cm}. \end{aligned} \quad (5)$$

5. 鉛、水と空気の中では、鉛は水に比べて、約3.5倍の減衰効果があるので、遮蔽(しゃへい)材としては鉛が最もすぐれている。しかし、水は空気と比べると、約1000倍の減衰効果があると言える。

備考：

一般に、高速の荷電粒子線や中性子線を扱う場合には、ガンマ線やベータ線を初めとする複数の放射線が随伴しているため、これらを同時に遮へいしなくてはならない。その例として、原子炉を用いた研究や原発の定期検査などの場合の作業員に対する原子炉の遮へい問題がある。スイミングプール型の原子炉は、原子力開発の初期に原子炉の放射線遮へい研究を目的として設置された。水素を多く含む水は低速中性子の捕獲ガンマ線のエネルギーが約2.3 MeVであり、水による遮へいが可能である。(放射線の遮へい:http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=08-01-02-06)