

Oplossing 1

Gebruik de formule voor de geproduceerde activiteit per volume-eenheid:

$$a(t) = \dot{\Phi}\Sigma(1 - e^{-\lambda t}) \approx \dot{\Phi}\Sigma\lambda t = \Phi\Sigma t$$

voor $\lambda t \ll 1$. De totaal geproduceerde activiteit is da:

$$A = \Phi\Sigma\lambda V_t = \Phi\sigma\frac{\rho N_A}{A}\lambda\frac{m}{\rho},$$

met V_t het target volume en m de massa van de in het bloed aanwezige ^{23}Na ($= 1.75 \cdot 10^{-3} \text{g/g} \cdot 5.4 \cdot 10^3 \text{g}$). Om A te berekenen moeten we de neutronen fluentie Φ weten, en dit halen we uit de fluentie-dosis conversie coëfficiënt voor thermische neutronen (zoek op: $h_\Phi = 10.6 \cdot 10^{-12} \text{Svcm}^2$). Thermische neutronen hebben volgens ICRP-103 een stralingsweegfactor $w_R = 2.5$, zodat de effectieve dosis E gelijk is aan $E = w_R D = 2.5 \cdot 0.1 = 0.25 \text{Sv}$. Dus Φ is dan: $\Phi = E/h_\Phi = 0.25 \text{Sv}/10.6 \cdot 10^{-12} \text{Svcm}^2 = 2.36 \cdot 10^{10} \text{cm}^{-2}$. Alle gegevens invullen in de formule voor A geeft het gevraagde antwoord:

$$A = 2.36 \cdot 10^{10} [\text{cm}^{-2}] \cdot 0.525 \cdot 10^{-24} [\text{cm}^2] \cdot \frac{6.022 \cdot 10^{23} [\text{mol}^{-1}]}{23 [\text{g/mol}]} \frac{0.693}{14.97 \cdot 3600 [\text{s}]} \cdot 9.45 [\text{g}] = 3.94 \cdot 10^4 [\text{Bq}].$$

Het dosistempo in het bloed t.g.v. de β -activiteit van het ^{24}Na is gelijk aan de totaal geabsorbeerde energie per tijdseenheid en per massa eenheid, dus

$$\dot{D}_\beta = 3.94 \cdot 10^4 [\text{s}^{-1}] \frac{1.4 \cdot 10^6 \cdot 1.602 \cdot 10^{-19} [\text{J}]}{3 \cdot 5.4 [\text{kg}]} = 5.46 \cdot 10^{-10} [\text{Gys}^{-1}] = 1.96 [\mu\text{Gyh}^{-1}].$$

De factor 3 in de noemer is vanwege $\langle E_\beta \rangle = E_{\beta,m}/3$.

Oplossing 2

Om de met BF_3 gevulde telbuis als remcounter te laten functioneren moet de respons voor 10 MeV neutronen zich verhouden tot die van thermische neutronen als

$$\frac{\dot{N}_{snel}}{\dot{N}_{therm}} = \frac{h_{\Phi,snel}}{h_{\Phi,therm}} = \frac{4 \cdot 10^{-10} [\text{Svcm}^2]}{10^{-11} [\text{Svcm}^2]} = 40, \quad (1)$$

voor dezelfde neutronen fluentie $\Phi_{snel} = \Phi_{therm}$. Echter, een kale telbuis telt thermische neutronen veel efficiënter dan snelle neutronen, immers per cm^2 is $\epsilon_{therm} = 0.239$ en $\epsilon_{snel} = 6.8 \cdot 10^{-4}$. Dit effect wordt gecompenseerd door de telbuis te omgeven door een dunne Cadmium schil, die thermische neutronen veel sterker absorbeert dan snelle neutronen. Met Cadmium schil geldt dan:

$$\frac{\dot{N}_{snel}}{\dot{N}_{therm}} = \frac{\dot{\Phi}_{snel} e^{-\sigma_{snel} n_t d} \epsilon_{snel}}{\dot{\Phi}_{therm} e^{-\sigma_{therm} n_t d} \epsilon_{therm}} = \frac{\epsilon_{snel}}{\epsilon_{therm}} e^{(\sigma_{therm} - \sigma_{snel}) n_t d}, \quad (2)$$

met n_t de deeltjes-dichtheid van de Cadmium atomen in de schil. Door vergelijkingen (1) en (2) aan elkaar gelijk te stellen vinden we

$$d = \frac{\ln(40\epsilon_{therm}/\epsilon_{snel})}{(\sigma_{therm} - \sigma_{snel}) n_t} = \frac{\ln(14.1 \cdot 10^3) A}{(\sigma_{therm} - \sigma_{snel}) \rho N_A} = 0.084 \text{ cm}.$$

Oplossing 3

Vraag 1

De transmissie T van de neutronen in het polyethyleen is exponentieel, i.e. $T = e^{-d/\lambda}$. Uit de grafiek valt af te lezen dat $T = 0.01$ voor $d = 30$ cm, invullen geeft $\lambda = -30/\ln(.01) = 6.514$ cm. Verder geldt dat

$$\dot{H}_n = h_\Phi \dot{\Phi}_n e^{-d/\lambda} = h_\Phi \frac{\dot{S}}{4\pi r^2} e^{-d/\lambda} = \frac{2.36 \cdot 10^8 [\text{s}^{-1}]}{4\pi \cdot 10^4 [\text{cm}^2]} \cdot 5.3 \cdot 10^{-10} [\text{Svcm}^2] e^{-45/6.514} \cdot 3600 [\text{sh}^{-1}] = 3.6 [\mu\text{Svh}^{-1}].$$

Vraag 2

De eis is dat

$$\frac{\dot{H}_\gamma}{\dot{H}_{\gamma,0}} = T_{poly} T_{Pb} = B \cdot 2^{-d/d_{1/2}} T_{Pb} = 0.01,$$

dus

$$T_{Pb} = \frac{0.01}{2 \cdot 2^{-45/17}} = 0.031.$$

Uit de grafiek valt af te lezen dat de benodigde looddikte gelijk is aan $d \approx 5.3$ cm.

Vraag 3a

$$\dot{H}_\gamma = T_{poly} T_{Pb} \dot{H}_{\gamma,0} = T_{Pb} \cdot 10 [\mu\text{Svh}^{-1}] = 0.031 \cdot 10 [\mu\text{Svh}^{-1}] = 0.31 [\mu\text{Svh}^{-1}].$$

Vraag 3b

Uit de grafiek valt af te lezen dat voor de neutronen de transmissie door een 5.3 cm dikke loodlaag gelijk is aan $T_{Pb} \approx 0.8$. Dan is dus

$$\dot{H}_n = T_{poly} T_{Pb} \dot{H}_{n,0} = 0.8 \cdot 3.6 [\mu\text{Svh}^{-1}] = 2.9 [\mu\text{Svh}^{-1}],$$

en het totale dosisequivalenttempo gelijk aan

$$\dot{H}_t = \dot{H}_n + \dot{H}_\gamma = 2.9 + 0.3 [\mu\text{Svh}^{-1}] = 3.2 [\mu\text{Svh}^{-1}].$$