

15. Man tänker bestråla toriumoxid i den process som beskrivs i uppgift 10 för att tillverka ^{233}U till en enkel kärnladdning med en god reflektor av järn.

- a) Hur mycket toriumoxid behöver man bestråla för att framställa önskad mängd ^{233}U i en omgång?
 b) Hur lång tid tar framställningen av ^{233}U om man bestrålar ett toriumoxidtarget med vikten 1 kg i var bestrålningscykel och tiden för återvinning av oförbrukad torium och renframställning av nästa target tar 1 månad?
 c) Hur mycket ^{231}Pa har man kvar på sina kolonner efter framställningen enligt b ovan? Antag att $n, 2n$ tvärsnittet för ^{232}Th är 0.012 barn och i övrigt gäller nuklidkartans tvärsnitt.

Enligt läroboken, sid 554, är den kritiska massan av ^{233}U med reflektor ca 6 kg.

Enligt angiven lösning till övningsuppgift 10 får vi 1.305×10^{17} atomer ^{233}U vid bestrålning av 10^{20} atomer ^{232}Th .

a) För att tillverka 6 kg ^{233}U behöver vi då bestråla enligt följande:

$$M_{^{233}\text{U}} := 233 \cdot \frac{\text{gm}}{\text{mole}} \quad M_{^{232}\text{Th}} := 232 \cdot \frac{\text{gm}}{\text{mole}} \quad M_{\text{ThO}_2} := (232 + 2 \cdot 16) \cdot \frac{\text{gm}}{\text{mole}}$$

$$N_A := 6.0221367 \cdot \frac{10^{23}}{\text{mole}} \quad m_{\text{xThO}_2} := \frac{10^{20}}{N_A} \cdot M_{\text{ThO}_2} \quad m_{\text{x}^{233}\text{U}} := \frac{1.305 \cdot 10^{17}}{N_A} \cdot M_{^{233}\text{U}}$$

$$m_{\text{laddn}} := 6 \cdot \text{kg}$$

$$m_{\text{bestr}} := m_{\text{laddn}} \cdot \frac{m_{\text{xThO}_2}}{m_{\text{x}^{233}\text{U}}} \quad m_{\text{bestr}} = 5.209 \cdot 10^3 \cdot \text{kg} \quad \text{Vi behöver således bestråla minst 5.2 ton ThO}_2 \text{ i en omgång.}$$

$$\text{b).} \quad t_{\text{cykel}} := (30 + 1) \cdot \text{day} + 30 \cdot \text{day}$$

$$m_{\text{cykel}} := 1 \cdot \text{kg} \quad n_{\text{cykel}} := \frac{m_{\text{bestr}}}{m_{\text{cykel}}} \quad \text{tid} := t_{\text{cykel}} \cdot n_{\text{cykel}} + 4 \cdot 30 \cdot \text{day}$$

$$\text{tid} = 3.179 \cdot 10^5 \cdot \text{day}$$

$$\text{tid} = 870.365 \cdot \text{yr}$$

c) Vi kan räkna på en totalbestrålning av 5.209 ton ThO_2 eftersom 870 år är betydligt kortare än halveringstiden för ^{231}Pa .

$$\text{barn} := 10^{-28} \cdot \text{m}^2 \quad \sigma_{n2n} := 0.012 \cdot \text{barn} \quad \lambda_{^{231}\text{Th}} := \frac{\ln(2)}{25.5 \cdot \text{hr}} \quad \lambda_{^{231}\text{Pa}} := \frac{\ln(2)}{32760 \cdot \text{yr}}$$

$$\phi := 10^{18} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1} \quad N_{\text{Th}} := \frac{m_{\text{bestr}}}{M_{\text{ThO}_2}} \cdot N_A \quad N_{\text{Th}} = 1.188 \cdot 10^{28}$$

På nytt försummar vi uppbyggnadsfasen av ^{231}Th under den 1 månad långa bestrålningen (med viss tvekan är detta OK). Följaktligen kan vi beräkna jämviktsradioaktiviteten hos ^{231}Th enligt:

$$Bq := \text{sec}^{-1} \quad R_{^{231}\text{Th}} := \phi \cdot \sigma_{n2n} \cdot N_{\text{Th}} \quad R_{^{231}\text{Th}} = 1.426 \cdot 10^{16} \cdot Bq$$

Nu kan vi beräkna uppbyggnaden av ^{231}Pa för en konstant produktionshastighet ur ^{231}Th samt en n, γ -reaktion till ^{232}Pa . Sönderfallet av ^{231}Pa försummas.

$$\sigma_{n\gamma} := 210 \cdot \text{barn} \quad \frac{dN_{\text{Pa}}}{dt} = -\phi \cdot \sigma_{n\gamma} \cdot N_{\text{Pa}} + R_{^{231}\text{Th}} \quad \text{Lösning av diff. ekv. leder till sambandet:}$$

$$N_{\text{Pa}}(\text{tid}) := \frac{R_{^{231}\text{Th}}}{\phi \cdot \sigma_{n\gamma}} \cdot \left(1 - \exp(-\phi \cdot \sigma_{n\gamma} \cdot \text{tid})\right) \quad N_{\text{Pa}}(30 \cdot \text{day}) = 3.597 \cdot 10^{22}$$

$$m_{\text{Pa}} := \frac{3.597 \cdot 10^{22}}{N_A} \cdot 231 \cdot \frac{\text{gm}}{\text{mole}} \quad m_{\text{Pa}} = 0.014 \cdot \text{kg}$$