

Lösningar till: Tentamen i tillämpad kärnkemi den 11 april 1997

1. Sveriges el-förbrukning uppgår nu till 142 TWh/år. Man beräknar att CLAB omkring år 2010 kommer att innehålla använt kärnbränsle som motsvarar 6000 ton uran, räknat som ursprunglig uranvikt innan användningen. Medelutbränningen uppskattas till 45 MWd/kg och plutoniumhalten är 0.7 vikts% av initial uranvikt. Halten av övriga aktinider försummas. Antag att detta bränsle i framtiden upparbetas och återvunnet uran och plutonium används i reaktorer av LMFBR typ med en termisk verkningsgrad på 40%. Antag vidare att 70% av allt återvunnet U och Pu kan konverteras och klyvas i denna reaktortyp. Hur många år skulle hela Sveriges nuvarande el-förbrukning kunna produceras från återvunnet uran och plutonium om vi bygger ett lämpligt antal LMFBR-reaktorer efter år 2010? (10p)

$$MWd := 10^6 \cdot \text{watt} \cdot 1 \cdot \text{day} \quad TWh := 10^{12} \cdot \text{watt} \cdot 1 \cdot \text{hr} \quad MeV := 10^6 \cdot 1.60217733 \cdot 10^{-19} \cdot \text{joule}$$

$$N_A := 6.0221367 \cdot 10^{23} \cdot \text{mole}^{-1} \quad M_{wU5} := 235 \cdot \text{gm} \cdot \text{mole}^{-1} \quad M_{wPu} := 239 \cdot \text{gm} \cdot \text{mole}^{-1}$$

$$M_{wU8} := 238 \cdot \text{gm} \cdot \text{mole}^{-1} \quad E_{fiss} := 200 \cdot \text{MeV}$$

$$Utbr := 45 \cdot \frac{MWd}{kg} \quad m_{fiss} := \frac{Utbr}{E_{fiss} \cdot N_A} \cdot M_{wU5} \quad m_{fiss} = 0.047$$

$$m_{U0} := 6000 \cdot \text{tonne} \quad m_U := m_{U0} \cdot (1 - m_{fiss}) \quad m_U = 5.716 \cdot 10^6 \cdot \text{kg}$$

$$m_{Pu} := 0.7 \cdot \% \cdot m_{U0} \quad m_{Pu} = 4.2 \cdot 10^4 \cdot \text{kg}$$

$$n_{fissFBR} := 70 \cdot \% \cdot \left(\frac{m_{Pu}}{M_{wPu}} + \frac{m_U}{M_{wU8}} \right) \cdot N_A \quad n_{fissFBR} = 1.02 \cdot 10^{31}$$

$$Q_{th} := n_{fissFBR} \cdot E_{fiss} \quad Q_{th} = 9.077 \cdot 10^4 \cdot TWh$$

$$Q_{el} := 40 \cdot \% \cdot Q_{th} \quad Q_{el} = 3.631 \cdot 10^4 \cdot TWh$$

$$q_{el} := 142 \cdot TWh \cdot \text{yr}^{-1}$$

$$tid := \frac{Q_{el}}{q_{el}} \quad tid = 255.701 \cdot \text{yr}$$

2. Man ämnar anrika deuterium genom lågtemperaturdestillering av flytande väte. Anrikningsfaktorn, α , för $^2\text{H}_2$ är 2.92 och för $^3\text{H}_2$ 5.18 relativt $^1\text{H}_2$. De tunga isotoperna anrikas i vätskefasen. Antag att ingående vätgas har normal halt av deuterium och 20 tritiumenheter. Försumma blandmolekylerna HD, HT, och DT och antag att kolonnen innehåller lika många teoretiska steg oberoende av sammansättningen. Vad blir specifika tritiumaktiviteten (Bq/kg) i en vätgas som innehåller 95% deuterium om anläggningen utvinner 50% av ingående deuteriummängd? (10p)

$$\alpha_1 := 2.92 \quad \alpha_2 := 5.18 \quad TU := \frac{1}{10^{18}} \quad x_{DF} := 0.0155 \cdot \% \quad x_{DP} := 95 \cdot \% \quad P := 1 \cdot \text{kg}$$

$$x_{DW} := \frac{x_{DF}}{2} \quad F := P \cdot \frac{x_{DP} - x_{DW}}{x_{DF} - x_{DW}} \quad F = 1.226 \cdot 10^4 \cdot \text{kg} \quad W := F - P \quad Bq := \text{sec}^{-1}$$

$$N_P := \frac{\ln \left[\frac{x_{DP} \cdot (1 - x_{DF})}{x_{DF} \cdot (1 - x_{DP})} \right]}{\ln(\alpha_1)} \quad x_{TF} := 20 \cdot TU \quad N_P = \frac{\ln \left[\frac{x_{TP} \cdot (1 - x_{TF})}{x_{TF} \cdot (1 - x_{TP})} \right]}{\ln(\alpha_2)}$$

$$x_{TP} := \exp \left(N_P \cdot \ln(\alpha_2) \right) \cdot \frac{x_{TF}}{(\exp(N_P \cdot \ln(\alpha_2)) \cdot x_{TF} + 1 - x_{TF})} \quad x_{TP} = 1.292 \cdot 10^{-9}$$

$$n_P := \left(\frac{95 \cdot \%}{4 \cdot \frac{\text{gm}}{\text{mole}}} + \frac{5 \cdot \%}{2 \cdot \frac{\text{gm}}{\text{mole}}} \right) \cdot N_A \quad n_P = 1.581 \cdot 10^{26} \cdot \text{kg}^{-1} \quad \text{Antal mol } \text{H}_2 + \text{D}_2$$

$$n_T := 2 \cdot x_{TP} \cdot n_P \quad n_T = 4.085 \cdot 10^{17} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\lambda := \frac{\ln(2)}{12.323 \cdot \text{yr}}$$

$$S_T := \lambda \cdot n_T$$

$$S_T = 7.281 \cdot 10^8 \cdot \frac{\text{Bq}}{\text{kg}}$$

3. En grafitmodererad termisk bldreaktor med ^{232}Th som fertilt material drivs i jämviktstillstånd med utvunnet ^{233}U . Vid återstart efter ett kort stopp fördubblas effekten på 8.32 sekunder. Reaktorn har en cylindrisk form med höjd = diameter = 4 m. Bränslet kan antagas vara homogent fördelat över volymen och termiska utnyttjandefaktorn, f , kan antagas vara 0.9. Beräkna k_{∞} . (10p)

$$t_{\text{dubbl}} := 8.32 \cdot \text{sec}$$

$$2 = \exp\left(\frac{t_{\text{dubbl}}}{t_{\text{per}}}\right) \quad t_{\text{per}} := \frac{t_{\text{dubbl}}}{\ln(2)} \quad t_{\text{per}} = 12.003 \cdot \text{sec} \quad \theta_{\text{eff}} := 10^{-3} \cdot \text{sec} + 0.049 \cdot \text{sec}$$

$$t_{\text{per}} = \frac{\theta_{\text{eff}}}{(k_{\text{eff}} - 1)} \quad k_{\text{eff}} := \frac{(t_{\text{per}} + \theta_{\text{eff}})}{t_{\text{per}}} \quad k_{\text{eff}} = 1.0042$$

$$b := 4 \cdot \text{m} \quad B2 := 33 \cdot b^{-2} \quad \tau := 0.0380 \cdot \text{m}^2 \quad L_{m2} := 0.287 \cdot \text{m}^2$$

$$f := 0.9 \quad L2 := L_{m2} \cdot (1 - f)$$

$$k_{\text{eff}} = \frac{k_{\text{inf}}}{(1 + B2 \cdot (L2 + \tau))} \quad k_{\text{inf}} := k_{\text{eff}} \cdot (1 + B2 \cdot L2 + B2 \cdot \tau) \quad k_{\text{inf}} = 1.142$$

4. För att bestämma utbränningen av ett bränsleelement kapades en pinne och ett fragment av en urankuts togs ut. Fragmentet löstes i 6 M salpetersyra. 0.1 ml av denna lösning späddes till 10 ml med destillerat vatten (lösning A). 0.5 ml av lösning A fick passera en liten kolonn med mordenit. Därvid sorberades cesium selektivt. Kolonnen tvättades med 0.1 M salpetersyra, torkades och mättes sedan med en HPGe-detektor. Därvid fann man att kolonnen innehöll 1800 Bq ^{134}Cs och 2500 Bq ^{137}Cs . Mätningen utfördes 1 år efter det att reaktorn stannats. Vid analys av lösning A fann man att denna innehöll 10 mg/l uran. Beräkna bränslepinnens utbränning i MWd/kg U om fissionsutbyten för ^{235}U kan användas och reaktorn gått 4 år med konstant effekt. (10p)

$$\lambda_{137} := \frac{\ln(2)}{30.0 \cdot \text{yr}} \quad \lambda_{137} = 7.322 \cdot 10^{-10} \cdot \text{sec}^{-1} \quad y_{137} := 6.183 \cdot \%$$

$$t_{\text{irr}} := 4 \cdot \text{yr} \quad t_{\text{cool}} := 1 \cdot \text{yr}$$

$$A_{137} = R_{\text{fiss}} \cdot y_{137} \cdot (1 - \exp(-\lambda_{137} \cdot t_{\text{irr}})) \cdot \exp(-\lambda_{137} \cdot t_{\text{cool}})$$

$$U_{\text{br}} = \frac{R_{\text{fiss}} \cdot E_{\text{fiss}} \cdot t_{\text{irr}}}{m_{\text{uran}}} \quad R_{\text{fiss}} = \frac{U_{\text{br}} \cdot m_{\text{uran}}}{E_{\text{fiss}} \cdot t_{\text{irr}}}$$

$$R_{\text{fiss}} = \frac{A_{137}}{y_{137} \cdot (1 - \exp(-\lambda_{137} \cdot t_{\text{irr}})) \cdot \exp(-\lambda_{137} \cdot t_{\text{cool}})}$$

$$\frac{U_{\text{br}} \cdot m_{\text{uran}}}{E_{\text{fiss}} \cdot t_{\text{irr}}} = \frac{A_{137}}{y_{137} \cdot (1 - \exp(-\lambda_{137} \cdot t_{\text{irr}})) \cdot \exp(-\lambda_{137} \cdot t_{\text{cool}})}$$

$$m_{\text{uran}} := 10 \cdot \frac{\text{mg}}{\text{liter}} \cdot 0.5 \cdot \text{mL} \quad m_{\text{uran}} = 5 \cdot 10^{-9} \cdot \text{kg} \quad A_{137} := 2500 \cdot \text{Bq}$$

$$U_{\text{br}} := \frac{A_{137}}{\left[y_{137} \cdot \left((1 - \exp(-\lambda_{137} \cdot t_{\text{irr}})) \cdot (\exp(-\lambda_{137} \cdot t_{\text{cool}}) \cdot m_{\text{uran}}) \right) \right]} \cdot E_{\text{fiss}} \cdot t_{\text{irr}}$$

$$U_{\text{br}} = 4.39 \cdot \frac{\text{MWd}}{\text{kg}}$$