

Lösningar till: Tentamen i Tillämpad Kärnkemi den 16 september 1994

1. a. Beskriv gascentrifugmetoden för anrikning av uran i teknisk skala. (max 2p), b. Förklara hur isotopieffektens storlek beror av massan. (max 2p), c. Vad sätter gränsen för den separationsfaktor som kan uppnås praktiskt (max 1p). Svar: a) Se boken §2.8.6 sid 36-37. b) , c) Hållfastheten hos materialet i centrifugens vägg begränsar maximal periferihastighet.

2. a. Vad menas med ett fördröjt kritisk system? (max 2p), b. Vilken mekanism ligger bakom fördröjningen? (max 1p), c. Varför bör en reaktor drivas som ett fördröjt kritiskt system? (max 1p), d. När bör man vara speciellt uppmärksam på detta? (max 1p). Svar: Ett system som alltid har $k_{\text{eff}} < 1 + \beta$, där β är bråkdelen fördröjda neutroner, dvs $\Delta k < \beta$. b) Vissa kortlivade fissionsprodukters β -sönderfall leder till n-utsändande tillstånd i dotterkärnan. Härigenom fördröjs n-utsändningen genom att föregående β -sönderfall har en viss halveringstid. d) Vid start eller effektökning så att Δk aldrig överstiger β när styrtavarna dras.

3. Efter uttag ur en kraftreaktor utvecklar bränslet fortfarande värme genom radioaktivt sönderfall av de olika isotoper som bildats under reaktordriften. Vid tider över någon vecka och upp till ca 200 år kommer värmeutvecklingen i det uttagna bränslet att domineras av den energi som frigörs vid sönderfall av ^{90}Sr - ^{90}Y - ^{90}Zr och ^{137}Cs - $^{137\text{m}}\text{Ba}$ - ^{137}Ba . ^{90}Sr och ^{137}Cs bildas under reaktordriften genom fission av U och Pu med totala fissionsutbytena 4.8% respektive 6.2% (försumma n.g reaktioner). Medelenergierna i MeV/sönderfall för dessa nuklider är 0.196 (^{90}Sr), 0.936 (^{90}Y), 0.816 (^{137}Cs) och 0.664 ($^{137\text{m}}\text{Ba}$). Om energifrigörelsen vid klyvning av en U eller Pu atom antages vara 200 MeV och reaktorn körs kontinuerligt på konstant effekt under 3 år, vad är energiutvecklingen (W/kg initialt uran) i bränsle med ett energiuttag på 40 MWd/kg initialt uran 30 år efter uttag ur reaktorn? (max 5p). Lösning (räkna på 1 kg initialt uran hela vägen så blir svaret per kg initialt uran):

$$\begin{aligned} \text{MeV} &:= 1.60217733 \cdot 10^{-13} \cdot \text{joule} & Q_{\text{fiss}} &:= 200 \cdot \text{MeV} & B_{\text{tot}} &:= 40 \cdot 10^6 \cdot \text{watt} \cdot \text{day} & t_{\text{tot}} &:= 3 \cdot \text{yr} \\ P_{\text{avg}} &:= \frac{B_{\text{tot}}}{t_{\text{tot}}} & R_{\text{avg}} &:= \frac{P_{\text{avg}}}{Q_{\text{fiss}}} & R_{\text{avg}} &= 1.139 \cdot 10^{15} \cdot \text{sec}^{-1} & \text{medelklyvningsraten} \\ y_{90} &:= 4.8 \cdot \% & y_{137} &:= 6.2 \cdot \% & \lambda_{90\text{Sr}} &:= \frac{\ln(2)}{28.6 \cdot \text{yr}} & \lambda_{137\text{Cs}} &:= \frac{\ln(2)}{30.2 \cdot \text{yr}} \\ t_{\text{cool}} &:= 30 \cdot \text{yr} & Bq &:= \text{sec}^{-1} & \text{Finessen är nu att } \phi \cdot \sigma \cdot N &= R_{\text{avg}} \cdot y \end{aligned}$$

$$A_{90} := R_{\text{avg}} \cdot y_{90} \cdot \left(1 - \exp(-\lambda_{90\text{Sr}} \cdot t_{\text{tot}})\right) \cdot \exp(-\lambda_{90\text{Sr}} \cdot t_{\text{cool}}) \quad A_{90} = 1.853 \cdot 10^{12} \cdot Bq$$

$$A_{137} := R_{\text{avg}} \cdot y_{137} \cdot \left(1 - \exp(-\lambda_{137\text{Cs}} \cdot t_{\text{tot}})\right) \cdot \exp(-\lambda_{137\text{Cs}} \cdot t_{\text{cool}}) \quad A_{137} = 2.361 \cdot 10^{12} \cdot Bq$$

Vi kan antaga radioaktiv jämvikt i kedjorna 30 år efter uttag ur reaktorn då detta är en lång tid jämfört med döttrarnas halveringstider.

$$Q_{90} := (0.196 + 0.936) \cdot \text{MeV} \quad Q_{137} := (0.816 + 0.664) \cdot \text{MeV}$$

$$P_{90} := Q_{90} \cdot A_{90} \quad P_{90} = 0.336 \cdot \text{watt}$$

$$P_{137} := Q_{137} \cdot A_{137} \quad P_{137} = 0.56 \cdot \text{watt}$$

$$P_{\text{fuel}} := P_{90} + P_{137} \quad P_{\text{fuel}} = 0.896 \cdot \text{watt} \quad \text{Svar: } 1.59 \text{ W/kg}$$

4. a. Hur ser flödeschemat ut för den version av PUREXprocessen som vanligen används vid upparbetning av LWR-bränsle? (max 4p), b. Vilket extraktionsreagens används? (max 1p). Svar: a) Den vanligaste typen som används för upparbetning av LWR-bränsle brukar klassas som "Early split II". U och Pu samextraheras och separeras sedan omedelbart i ett andra steg genom att Pu reduceras till Pu^{3+} som strippas från extraktet. Schema finns i utdelade blad. b) TBP (tri-n-butylfosfat) löst i alifatisk diluent.

5. En pinne i en bränslepatron har ytterdiametern 1.0 cm. Höljesröret av zircaloy-2 har en vägg tjocklek på 1 mm och värmeledningsförmågan $0.16 \text{ W cm}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Bränslet utgöres av UO_2 med en täthet på 10.5 g/cm^3 och en värmeledningsförmåga på $0.033 \text{ W cm}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Försumma temperatursprånget i gapet mellan hölje och bränsle. Vad blir maximala linjära energibelastningen i W/cm om centertemperaturen högst får vara 1200°C . Kylmedlet har temperaturen 257°C och denna antages 3°C lägre än pinnens yta? (max 5p). Lösning:

$$r_c := \frac{1.0 \cdot \text{cm}}{2} \quad r_i := r_c - 1 \cdot \text{mm} \quad r_f := r_i \quad (\text{gapet försummas})$$

$$k_c := 0.16 \cdot \text{watt} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \quad k_f := 0.033 \cdot \text{watt} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \quad T_0 := (257 + 273.15) \cdot \text{K}$$

$$dT_0 := 3 \cdot \text{K} \quad T_{can} := T_0 + dT_0 \quad T_{can} = 533.15 \cdot \text{K}$$

$$A_{fuel} := \pi \cdot r_f^2 \quad Omkr := 2 \cdot \pi \cdot r_c \quad r_f = 0.4 \cdot \text{cm}$$

$$dT_{can} = p \cdot r_f^2 \cdot (r_c - r_i) \cdot (2 \cdot r_i \cdot k_c)^{-1}$$

$$T_{centr} := (1200 + 273.15) \cdot \text{K}$$

$$T_{centr} = T_{can} + dT_{can} + p \cdot r_f^2 \cdot (4 \cdot k_f)^{-1} \quad \text{Inför värdet på } dT_{can} \text{ och hyfsa}$$

$$T_{centr} = T_{can} + \frac{1}{2} \cdot p \cdot r_f^2 \cdot \frac{(r_c - r_i)}{(r_i \cdot k_c)} + \frac{1}{4} \cdot p \cdot \frac{r_f^2}{k_f} \quad \text{Lös ut } p \text{ och beräkna dess värde}$$

$$p := \frac{-(T_{centr} - T_{can})}{\left[\frac{-1}{2} \cdot \frac{r_f^2}{(r_i \cdot k_c)} \cdot r_c + \frac{1}{2} \cdot \frac{r_f^2}{k_c} - \frac{1}{4} \cdot \frac{r_f^2}{k_f} \right]} \quad p = 703.003 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{cm}^3}$$

$$P_L := p \cdot A_{fuel} \quad P_L = 353.368 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{cm}}$$

6. Man vill komplexbinda aktinider med en oorganisk envärd halogenid-anjon. a) Vilken ger kraftigaste komplexet? Motivera varför. (max 3p), b) Varför blir motsvarande komplex starkare för Cm^{3+} än för Am^{3+} ? (max 2p). Svar: a) Fluoridjon. Aktiniderna bildar hårda joner som huvudsakligen binder via elektrostatiska krafter. Detta medför att minsta envärda anjon binds kraftigast. b) Cm^{3+} -jonen har en något lägre jonradie än Am^{3+} pga aktinidkontraktionen och härigenom högre el-fältstyrka på ytan.

7. I Sverige har speciella filtersystem installerats vid samtliga reaktorer för att begränsa verkningarna av ett eventuellt reaktor haveri. a) Vad har dessa för funktion? (max 3p), b) Vilka typer av sådana filter finns det? (max 2p). Svar: a) Tryckavlasta inneslutningen vid haverier med tryckuppbyggnad i inneslutningen. b) Stenkonkondensor (Barsebäck) och venturiskrubber (övriga reaktorer).

8. Ange med vilken faktor ($\times 2200 \text{ m/s}$ värdet) neutronvärsnittet för en (n, γ) reaktion (vars tvärsnitt antages variera normalt med n -energin) avviker från 2200 m/s värdet om reaktionen sker med neutroner som står i termisk jämvikt med en moderator med medeltemperaturen 285°C . (max 5p). Lösning:

$$\frac{m_n \cdot v^2}{2} = k \cdot T \quad \text{där} \quad k := 1.38066 \cdot 10^{-23} \cdot \text{joule} \cdot \text{K}^{-1} \quad m_n := 1.6749286 \cdot 10^{-27} \cdot \text{kg}$$

$$T := (285 + 273.15) \cdot \text{K} \quad v := \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot T}{m_n}} \quad v = 3.033 \cdot 10^3 \cdot \text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$$

$$\text{men enligt } 1/v\text{-lagen gäller att } \sigma \text{ är proportionellt mot } 1/v \quad v_0 := 2200 \cdot \text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$$

$$\text{Faktorn} = \frac{\frac{\sigma_0}{v}}{\frac{\sigma_0}{v_0}} \quad \text{Faktorn} := \frac{v_0}{v} \quad \text{Faktorn} = 0.725$$