

## Lösningar till tentamen i tillämpad kärnkemi den 25 april 1998

1. Ett kraftföretag köper in ett parti  $U_3O_8$  för 320 kr/kg på spotmarkanden och låter konvertera detta till  $UF_6$  till en kostnad av 32 kr/kg uran. Uranhexafluoriden anrikas sedan till en  $^{235}U$ -halt på 3.5%. För anrikningsarbetet betalar man 600 kr/kgSWU vid en halt på 0.2%  $^{235}U$  i det avrikade uranet. Av det anrikade uranet låter man tillverka färdigt kärnbränsle och betalar för tillverkningen 720 kr/kgU. Bränslet används i en kokvattenreaktor med verkningsgraden 34% till en slutlig utbränning på 45 MWd/kgU. Hur stor blir bränslekostnaden per kWh el i detta fall? (10p). Lösning: Vi räknar på 1 kg U som bränsle.

$$M_U := 238.03 \cdot \text{gm} \cdot \text{mole}^{-1} \quad M_O := 16 \cdot \text{gm} \cdot \text{mole}^{-1} \quad M_F := 19 \cdot \text{gm} \cdot \text{mole}^{-1} \quad kr := 1$$

$$x_F := 0.72 \cdot \% \quad x_P := 3.5 \cdot \% \quad x_W := 0.2 \cdot \%$$

$$P := 1 \cdot \text{kg} \quad F := P \cdot \frac{x_P - x_W}{x_F - x_W} \quad F = 6.346 \cdot \text{kg}$$

$$W := F - P \quad W = 5.346 \cdot \text{kg}$$

$$m_{U_3O_8} := F \cdot \left( \frac{3 \cdot M_U + 8 \cdot M_O}{3 \cdot M_U} \right) \quad m_{U_3O_8} = 7.484 \cdot \text{kg}$$

$$V(x) := (2 \cdot x - 1) \cdot \ln \left( \frac{x}{1 - x} \right)$$

$$SWU := W \cdot V(x_W) + P \cdot V(x_P) - F \cdot V(x_F) \quad SWU = 5.352 \cdot \text{kg}$$

$$P_{U_3O_8} := 320 \cdot \frac{\text{kr}}{\text{kg}} \quad P_{UF_6} := 32 \cdot \frac{\text{kr}}{\text{kg}} \quad P_{SWU} := 600 \cdot \frac{\text{kr}}{\text{kg}} \quad P_{Fabr} := 720 \cdot \frac{\text{kr}}{\text{kg}}$$

$$Pris := m_{U_3O_8} \cdot P_{U_3O_8} + F \cdot P_{UF_6} + SWU \cdot P_{SWU} + P \cdot P_{Fabr} \quad Pris = 6.529 \cdot 10^3 \cdot \text{kr}$$

$$EI := 45 \cdot 10^6 \cdot \text{watt} \cdot \text{day} \cdot 34 \cdot \% \quad kWh := 10^3 \cdot \text{watt} \cdot \text{hr} \quad EI = 3.672 \cdot 10^5 \cdot \text{kWh}$$

$$Elkostn := \frac{Pris}{EI} \quad Elkostn = 0.018 \cdot \frac{\text{kr}}{\text{kWh}}$$

2. I avsikt att förstöra  $^{237}\text{Np}$  tänker man bestråla detta i ett högt neutronflöde. Därvid bildas primärt  $^{238}\text{Np}$  via en  $(n, \gamma)$  reaktion. Bildat  $^{238}\text{Np}$  kan sedan antingen sönderfalla radioaktivt till  $^{238}\text{Pu}$  eller klyvas. Hur stort flöde krävs då för att 90% av bildat  $^{238}\text{Np}$  skall klyvas? Antag att nuklidkartans data är användbara. (10p)

$$x = \frac{\phi \cdot \sigma_f}{\lambda + \phi \cdot (\sigma_f + \sigma_{n\gamma})} \quad \text{ekv. (21.6)}$$

$$x := 90 \cdot \% \quad \sigma_f := 2070 \cdot 10^{-28} \cdot \text{m}^2 \quad \sigma_{n\gamma} := 0 \cdot \text{m}^2 \quad t_{1/2} := 2.117 \cdot \text{day} \quad \lambda := \frac{\ln(2)}{t_{1/2}}$$

$$\phi := -x \cdot \frac{\lambda}{(x \cdot \sigma_f + x \cdot \sigma_{n\gamma} - \sigma_f)} \quad \phi = 1.648 \cdot 10^{20} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$$

3. Bränslet i en stor natriumkyld bldreaktors centralhård består av MOX med 16% Pu och resten avriktat uran. Bränslepinnarna måste kapslas i rostfritt stål med en väggjocklek på 0.75 mm. Pinnarna får ha en linjär värmebelastning på 60 kW/m. Man vill kunna uppnå en utbränning på 100000 MWd/ton MOX efter 840 dygns drift vid full effekt. Vad skall pinnarnas ytterdiameter vara om använd MOX har tätheten 10.4 g/cm<sup>3</sup>? (10p). Lösning:

$$P := \frac{100000 \cdot 10^6 \cdot \text{watt} \cdot \text{day}}{10^3 \cdot \text{kg} \cdot 840 \cdot \text{day}}$$

$$P = 1.19 \cdot 10^5 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{kg}}$$

$$\rho := 10.4 \cdot \text{gm} \cdot \text{cm}^{-3}$$

$$P_V := P \cdot \rho$$

$$P_V = 1.238 \cdot 10^9 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{m}^3}$$

$$P_L := 60 \cdot \frac{\text{kW}}{\text{m}}$$

$$d_{can} := 0.75 \cdot \text{mm}$$

$$d_{yttre} = 2 \cdot d_{can} + 2 \cdot r_{MOX}$$

$$\text{Area} = \pi \cdot r_{MOX}^2$$

$$V = \text{Area} \cdot 1$$

$$P_V \cdot V = P_L$$

$$V := \frac{P_L}{P_V}$$

$$V = 4.846 \cdot 10^{-5} \cdot \text{m}^2$$

$$\text{Area} := V$$

$$r_{MOX} := \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{\text{Area}}$$

$$r_{MOX} = 3.928 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m}$$

$$d_{yttre} := 2 \cdot d_{can} + 2 \cdot r_{MOX}$$

$$d_{yttre} = 9.355 \cdot \text{mm}$$

4. En tryckvattenreaktor på 3000 MWth körs med full effekt och nödstoppas plötsligt genom ett turbinfel. Felsökning och utbyte av en trasig reglerventil till ångturbinen tar 4 dygn. Antag att reaktorn innehåller 90 ton uran med 3.5% <sup>235</sup>U. Försumma n-tvårsnittet för moderator, konstruktionsmaterial och styrtavar. För reaktorn gäller att B = 1.5/m och M = 6.2 cm. Hur stort värde på produkten ε·p krävs för att reaktorn skall kunna starta när ventilfelet lagats om vi kan betrakta reaktorn som homogen? (10p). Lösning: OBS: f=1 eftersom övriga tvårsnitt skall försummas.

$$f := 1$$

$$k_{eff} := 1$$

Krav för start

$$\alpha := \frac{3.5 \cdot \% \cdot 107.5 + (100 - 3.5) \cdot \% \cdot 1.5}{3.5 \cdot \% \cdot 448.1}$$

$$\alpha = 0.332$$

$$v := 2.43$$

$$\eta := \frac{v}{1 + \alpha}$$

$$\eta = 1.824$$

$$k_{inf} = \eta \cdot \epsilon \cdot p \cdot f$$

$$B := \frac{1.5}{\text{m}}$$

$$B2 := B^2$$

$$B2 = 2.25 \cdot \text{m}^{-2}$$

$$M := 6.2 \cdot \text{cm}$$

$$M2 := M^2$$

$$M2 = 3.844 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m}^2$$

$$1 = \frac{k_{inf}}{1 + B2 \cdot M2}$$

$$1 = \eta \cdot \epsilon \cdot p \cdot \frac{f}{(1 + B2 \cdot M2)}$$

$$\epsilon p := \frac{1}{\eta \cdot f} \cdot (1 + B2 \cdot M2)$$

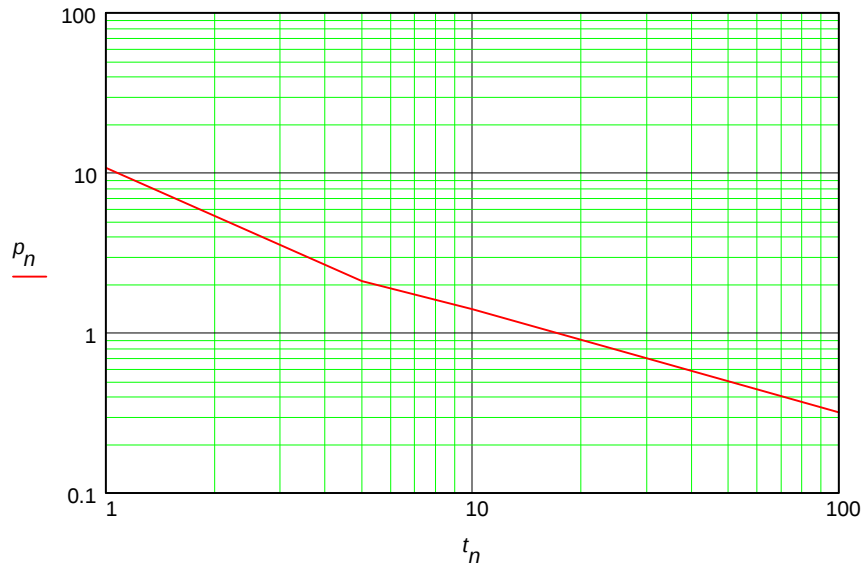
$$\epsilon p = 0.553$$

5. Det svenska mellanlagret för använt kärnbränsle (CLAB) beräknas nu innehålla 3000 ton använt bränsle, vilket motsvarar 2800 ton initialt uran. Vi antar att bränslet tillförts i satser om 250 ton, en gång per år. Bränslet har tidigare lagrats ett år vid respektive reaktor. Vi antar slutligen att bränslet kommer från PWR med en utbränning av 33 MWd/kg U. Hur stor är då totala värmeutvecklingen i CLAB nu? (10p). Lösning: Grundläggande data finns i Tabell 21.5 i läroboken. Lämpligt att tillverka ett diagram i log-log skala över tid och effekt.

$n := 0..3$

$t_n :=$        $p_n :=$

|     |      |
|-----|------|
| 1   | 10.8 |
| 5   | 2.1  |
| 10  | 1.4  |
| 100 | 0.32 |



Hur mycket uran motsvarar 250 ton bränsle?

$$m_U := \frac{2800}{3000} \cdot 250 \cdot 10^3 \cdot \text{kg} \quad m_U = 2.333 \cdot 10^5 \cdot \text{kg}$$

Hur många bränslesatser har lagrats?

$$N_{\text{sats}} := \frac{3000}{250} \quad N_{\text{sats}} = 12$$

Således har vi en sats som är 12 år gammal, en som är 11 år gammal, etc. och en som är 1 år gammal.

$j := 0..11$

$Pnu_j :=$       Värden avlästa ur grafen för 1, 2, 3, ... år.

|                                               |
|-----------------------------------------------|
| $10.8 \cdot \text{watt} \cdot \text{kg}^{-1}$ |
| $5.25 \cdot \text{watt} \cdot \text{kg}^{-1}$ |
| $3.55 \cdot \text{watt} \cdot \text{kg}^{-1}$ |
| $2.63 \cdot \text{watt} \cdot \text{kg}^{-1}$ |
| $2.1 \cdot \text{watt} \cdot \text{kg}^{-1}$  |
| $1.86 \cdot \text{watt} \cdot \text{kg}^{-1}$ |
| $1.74 \cdot \text{watt} \cdot \text{kg}^{-1}$ |
| $1.58 \cdot \text{watt} \cdot \text{kg}^{-1}$ |
| $1.48 \cdot \text{watt} \cdot \text{kg}^{-1}$ |
| $1.4 \cdot \text{watt} \cdot \text{kg}^{-1}$  |
| $1.32 \cdot \text{watt} \cdot \text{kg}^{-1}$ |
| $1.26 \cdot \text{watt} \cdot \text{kg}^{-1}$ |

$$\text{Heat} := m_U \cdot \left( \sum_j Pnu_j \right) \quad \text{Heat} = 8.16 \cdot 10^6 \cdot \text{watt} \quad \text{Heat} = 8.16 \cdot 10^3 \cdot \text{kW}$$