

Lösningar till: Tentamen i Tillämpad Kärnkemi den 27 maj 1992

1. Naturligt uran innehåller 0.0054% ^{234}U , 0.72% ^{235}U , och resten ^{238}U . Beskriv hur och varför halten ^{234}U ändras i produkten vid framställning av 3% anrikat uran med gasdiffusion om halten ^{235}U i avfallsprodukten ändras från sitt normala värde (0.25%). (max 5p). Lösning:

$$x_{F5} := 0.72\% \quad x_{F4} := 0.0054\% \quad x_{W5} := 0.25\% \quad x_{P5} := 3\%$$

$$\alpha_5 := \sqrt{\frac{238 + 6 \cdot 19}{235 + 6 \cdot 19}} \quad \alpha_5 = 1.004 \quad \alpha_4 := \sqrt{\frac{238 + 6 \cdot 19}{234 + 6 \cdot 19}} \quad \alpha_4 = 1.006$$

$$N_P := \frac{\ln \left[\frac{x_{P5} \cdot (1 - x_{F5})}{x_{F5} \cdot (1 - x_{P5})} \right]}{\ln(\alpha_5)} \quad N_P = 338.896 \quad N_W := \frac{\ln \left[\frac{x_{F5} \cdot (1 - x_{W5})}{x_{W5} \cdot (1 - x_{F5})} \right]}{\ln(\alpha_5)} \quad N_W = 248.272$$

Eftersom vi bara kan ha diskreta steg sätter vi:

$$N_P := 339 \quad N_W := 248 \quad \text{För } ^{234}\text{UF}_6 \text{ gäller nu: } N_P = \frac{\ln \left[\frac{x_{P4} \cdot (1 - x_{F4})}{x_{F4} \cdot (1 - x_{P4})} \right]}{\ln(\alpha_4)}$$

$$x_{P4} := \alpha_4^{N_P} \cdot \frac{x_{F4}}{\left(\alpha_4^{N_P} \cdot x_{F4} + 1 - x_{F4} \right)} \quad x_{P4} = 0.037\% \quad \text{Detta är då det normala värdet.}$$

$$x_{W4} := \frac{-x_{F4}}{\left(-\alpha_4^{N_W} + \alpha_4^{N_W} \cdot x_{F4} - x_{F4} \right)} \quad x_{W4} = 1.309 \cdot 10^{-3} \%$$

Eftersom ekvationen för beräkning av x_{P4} vid fullständigt återflöde inte innehåller någon variabel som beror av x_{W5} så kan vi antaga att halten ^{234}U i produkten förblir oförändrad. (Detta gäller dock inte för ideala kaskader !)

2. Massspektrometri på bly som isolerats från ett prov på djuphavs sediment visade förekomst av ^{204}Pb , ^{206}Pb och ^{207}Pb i förhållandena: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 21.5$; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.0$. Beräkna åldern på sedimentet. (max 5p). Lösning:

$$\text{Sedimentet: } n_{204} := 1 \quad n_{206} := 21.5 \quad n_{207} := 16.0$$

$$\text{Standardbly: } x_{204} := 1.4\% \quad x_{206} := 24.1\% \quad x_{207} := 22.1\% \quad x_{208} := 52.4\%$$

$$\text{Normalisera till } ^{204}\text{Pb: } n_{s204} := 1 \quad n_{s206} := \frac{x_{206}}{x_{204}} \quad n_{s207} := \frac{x_{207}}{x_{204}} \quad n_{s206} = 17.214$$

$$\text{Radiogent överskott: } N_{206} := n_{206} - n_{s206} \quad N_{206} = 4.286$$

$$N_{207} := n_{207} - n_{s207} \quad N_{207} = 0.214$$

$$\text{Natururan nu: } x_{234} := 0.0054\% \quad x_{235} := 0.72\% \quad x_{238} := 1 - x_{234} - x_{235}$$

$$\lambda_{235} := \frac{\ln(2)}{7.04 \cdot 10^8 \text{ yr}} \quad \lambda_{238} := \frac{\ln(2)}{4.468 \cdot 10^9 \text{ yr}}$$

Antag att blymängden motsvarar N_U atomer uran nu.

$$N_{0235} = N_U \cdot x_{235} \cdot \exp(\lambda_{235} \cdot \text{Tid}) \quad N_{0238} = N_U \cdot x_{238} \cdot \exp(\lambda_{238} \cdot \text{Tid})$$

Men bildat radiogent bly motsvarar sönderfallen mängd av respektive U-isotop, varför

$$N_{207} = N_{0235} - N_{235} \quad \frac{N_{207}}{N_{206}} = \frac{N_{0235} - N_{235}}{N_{0238} - N_{238}}$$

$$N_{206} = N_{0238} - N_{238} \quad \frac{N_{207}}{N_{206}} = \frac{(N_U \cdot x_{235} \cdot \exp(\lambda_{235} \cdot \text{Tid}) - N_U \cdot x_{235})}{(N_U \cdot x_{238} \cdot \exp(\lambda_{238} \cdot \text{Tid}) - N_U \cdot x_{238})}$$

$$\frac{N_{207}}{N_{206}} = \frac{x_{235} \cdot (\exp(\lambda_{235} \cdot \text{Tid}) - 1)}{x_{238} \cdot (\exp(\lambda_{238} \cdot \text{Tid}) - 1)}$$

I denna ekvation är nu bara "Tid" en obekant och kan beräknas.

$$F(\text{Tid}) := \frac{x_{235} \cdot (\exp(\lambda_{235} \cdot \text{Tid} \cdot \text{yr}) - 1)}{x_{238} \cdot (\exp(\lambda_{238} \cdot \text{Tid} \cdot \text{yr}) - 1)} - \frac{N_{207}}{N_{206}}$$

$$\text{Tid} := 2 \cdot 10^8 \quad F(\text{Tid}) = 8.889 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{root}(F(\text{Tid}), \text{Tid}) = 1.959 \cdot 10^8 \quad \text{Svar: 196 miljoner år}$$

3. Bör en reaktor av säkerhetskäl drivas som ett underkritiskt system, som ett fördröjt kritiskt system eller som ett prompt kritiskt system? Motivera svaret. (max 4p). Svar: Som ett fördröjt kritiskt system. De fördröjda neutronerna ger en lång reaktorperiod som medger enkel reglering av reaktoreffekten.

4. Ett neutronflöde antages ha konstant intensitet i energiintervallet 0.1 - 0.5 eV oberoende av energin. Naturligt guld har ett (n,γ) tvärsnitt på 98.8 b vid 2200 m/s. Antag att detta tvärsnitt följer 1/v-lagen. Vad är det effektiva medeltvärsnittet i detta neutronflöde inom det givna energiintervallet? (max 5p). Lösning:

$$eV := 1.60217733 \cdot 10^{-19} \cdot \text{joule} \quad \text{barn} := 10^{-28} \cdot m^2 \quad k_{bm} := 1.380658 \cdot 10^{-23} \cdot \frac{\text{joule}}{K}$$

$$m_n := 1.6749286 \cdot 10^{-27} \cdot \text{kg} \quad \frac{m_n \cdot v_n^2}{2} = E_n \quad \phi(E_n) = \phi_0 \cdot m^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$$

$$\sigma_0 := 98.8 \cdot \text{barn} \quad v_0 := 2200 \cdot m \cdot \text{sec}^{-1} \quad \sigma_v = \frac{k_0}{v} \quad k_0 := \sigma_0 \cdot v_0 \quad v_n = \sqrt{\frac{2 \cdot E_n}{m_n}}$$

$$E_1 := 0.1 \cdot eV \quad E_2 := 0.5 \cdot eV$$

$$\sigma_{avg} = \frac{\int_{E_1}^{E_2} \phi(E_n) \cdot \sigma(E_n) dE_n}{\int_{E_1}^{E_2} \phi(E_n) dE_n} \quad \sigma_{avg} = \frac{\int_{E_1}^{E_2} \phi_0 \cdot m^{-2} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \frac{k_0}{\sqrt{\frac{2 \cdot E_n}{m_n}}} dE_n}{\int_{E_1}^{E_2} \phi_0 \cdot m^{-2} \cdot \text{sec}^{-1} dE_n}$$

$$\sigma_{avg} := k_0 \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot m_n}}{\sqrt{E_2} + \sqrt{E_1}} \quad \sigma_{avg} = 30.713 \cdot \text{barn}$$

5. Hur och varför flyttas bränslepatroner mellan olika positioner i hårdens på en kokvattenreaktor vid årlig omladdning med nytt bränsle? (max 4p). Svar: n-flödet är högre i centrum av hårdens än i periferin. För att få en jämn effektfördelning placeras nytt bränsle (med högst halt klyvbara atomer) relativt långt ut i periferin och äldre bränsle mer centralt. Samtidigt tas bränsle med högst utbränning ut ur hårdens mer centrala delar. Detta medför behov att placera om befintliga bränsleelement. Två principer kan nyttjas. i) allt gammalt bränsle tas ut ur hårdens centrum, sedan flyttas bränslepatroner systematiskt in mot centrum och det nya bränslet placeras i de lediga platser som uppstår i periferin. ii) för en ännu mer optimal effektfördelning sker en beräkning och sedan uttag och omplacering av bränsle, vilket ger ett mer schackbrädesliknande omflytningsmönster.

6. Hur ändras jonradien inom aktinidserien vid ett konstant oxidationstal? Varför? (max 4p). Svar: Jonradien minskar med ökande atomnummer på grund av ökande kärnladdning vid samma yttre orbitaler. Detta beror på att f-elektronerna hamnar i orbitaler som i huvudsak befinner sig närmare kärnan.

7. Hur ser flödeschemat ut för en vanlig version av PUREX-processen? Vilka för och nackdelar finns vid användning av Fe(II) respektive U(IV)? (max 4p). Svar: Se utdelat blad över PUREX-processen. Fe(II) hamnar i avfallet och ökar mängden högaktivt avfall. U(IV) belastar i stället processen genom att en viss del av extraktionskapaciteten upptages av U(IV) som producerats och återförts från U-produkten.

8. Beskriv kortfattat tänkbara för och nackdelar hos de tre metoder som är tänkbara kandidater för slutlagring av utbränt kärnbränsle från svenska kärnkraftverk? (max 4p). Svar: Se utdelade blad. Metoderna är i korthet: KBS-3, WP-cave och Djupa borrhål (alternativ som var aktuella 1992).

9. En pinne med diametern 1.2 cm i en bränslepatron drivs med en linjär effekt på 22 W/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 centertemperaturen om kylmedlet har temperaturen 257°C och denna antages 3°C lägre än pinnens yta? (max 5p). Lösning:

$$r_c := \frac{1.2 \cdot \text{cm}}{2} \quad r_i := r_c - 1 \cdot \text{mm} \quad r_f := r_i \quad (\text{gapet försummas})$$

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

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

$$A_{fuel} := \pi \cdot r_f^2 \quad Omkr := 2 \cdot \pi \cdot r_c \quad r_f = 0.5 \cdot \text{cm}$$

$$p := \frac{22 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{cm}}}{\pi \cdot r_f^2} \quad p = 28.011 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{cm}^3} \quad dT_{can} := p \cdot r_f^2 \cdot (r_c - r_i) \cdot (2 \cdot r_i \cdot k_c)^{-1} \quad dT_{can} = 4.377 \cdot \text{K}$$

$$T_{centr} := T_{can} + dT_{can} + p \cdot r_f^2 \cdot (4 \cdot k_f)^{-1} \quad T_{centr} = 590.578 \cdot \text{K} \quad 590.578 - 273.15 = 317.428$$

Svar: 317°C