

Lösningar till: Tentamen i Tillämpad Kärnkemi den 27 maj 1993

1. a. Naturligt uran innehåller 0.0054% ^{234}U , 0.72% ^{235}U och resten ^{238}U . Hur mycket natururan förbrukas för att framställa i ton anrikat uran med 3.3% ^{235}U om det avrikade uranet innehåller 0.25% ^{235}U ? (2p), b. Förklara hur isotopieffektens storlek beräknas för gasdiffusion av UF_6 . (3p). Lösning:

a)

$$x_F := 0.72\cdot\% \quad x_P := 3.3\cdot\% \quad x_W := 0.25\cdot\% \quad P := 1\cdot\text{tonne}$$

$$F := P \cdot \frac{x_P - x_W}{x_F - x_W} \quad \text{ekv. (2.49)} \quad F = 6.489 \cdot \text{tonne}$$

b) Isotopieffekten beror på skillnaden i hastighet mellan molekyler av $^{235}\text{UF}_6$ och $^{238}\text{UF}_6$ vid samma temperatur och energi. $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}m_1v_1^2 = \frac{1}{2}m_2v_2^2$ varför $v_1/v_2 = \alpha = (m_2/m_1)^{1/2}$.

$$M_{w235\text{UF}_6} := (235 + 6 \cdot 19) \cdot \frac{\text{gm}}{\text{mole}} \quad M_{w238\text{UF}_6} := (238 + 6 \cdot 19) \cdot \frac{\text{gm}}{\text{mole}}$$

$$\alpha := \sqrt{\frac{M_{w238\text{UF}_6}}{M_{w235\text{UF}_6}}} \quad \alpha = 1.00429$$

2. Mass-spektrometri på bly som isolerats från en svensk skiffer visade att denna innehöll ^{204}Pb , ^{206}Pb och ^{207}Pb i förhållandena 1.00/24.97/16.16. Uppskatta skifferns ålder. (6p). Lösning: Eftersom ^{204}Pb inte bildas genom sönderfall av det uran som finns i skiffern kan andelen av denna blyisotop användas för beräkning av mängden icke radiogent bly i blyet. Icke radiogent bly har 1.4% ^{204}Pb , 24.1% ^{206}Pb , 22.1% ^{207}Pb och 52.4% ^{208}Pb enligt data i nuklidkartan. För sådant bly gäller då att per enhet av ^{204}Pb finns:

$$N_{o206} := \frac{24.1}{1.4} \quad \text{och} \quad N_{o207} := \frac{22.1}{1.4}$$

För blyet i skiffern gäller att:

$$N_{s206} := 24.97 \quad \text{och} \quad N_{s207} := 16.16$$

Mängderna av radiogena blyisotoper kan då beräknas enligt följande:

$$N_{r206} := N_{s206} - N_{o206} \quad N_{r206} = 7.756$$

$$N_{r207} := N_{s207} - N_{o207} \quad N_{r207} = 0.374$$

Men detta ^{206}Pb härstammar från sönderfall av ^{238}U och ^{207}Pb från sönderfall av ^{235}U i skiffern. Vi kan då beräkna de mängder uran som sönderfallit:

$$N_{0U238} - N_{U238} = N_{r206} \quad N_{0U235} - N_{U235} = N_{r207}$$

Vi vet att nuvarande isotopandelar i naturligt uran är 0.72% ^{235}U , 0.0054% ^{234}U och 99.2745% ^{238}U . Detta leder då till att skifferns uranhalt, C_U , ger:

$$\lambda_{235} := \frac{\ln(2)}{7.04 \cdot 10^8 \cdot \text{yr}} \quad N_{U235} = 0.72\cdot\% \cdot C_U \quad \lambda_{238} := \frac{\ln(2)}{4.468 \cdot 10^9 \cdot \text{yr}} \quad N_{U238} = 99.2745\cdot\% \cdot C_U$$

$$N_{0U235} = N_{U235} \cdot \exp(\lambda_{235} \cdot \text{Age}) \quad N_{0U238} = N_{U238} \cdot \exp(\lambda_{238} \cdot \text{Age})$$

$$N_{0U235} - N_{U235} = N_{r207} \quad N_{0U238} - N_{U238} = N_{r206}$$

$$N_{U235} \cdot \exp(\lambda_{235} \cdot \text{Age}) - N_{U235} = N_{r207} \quad N_{U238} \cdot \exp(\lambda_{238} \cdot \text{Age}) - N_{U238} = N_{r206}$$

$$N_{U235} \cdot (\exp(\lambda_{235} \cdot \text{Age}) - 1) = N_{r207} \quad N_{U238} \cdot (\exp(\lambda_{238} \cdot \text{Age}) - 1) = N_{r206}$$

$$.72\cdot\% \cdot C_U \cdot (\exp(\lambda_{235} \cdot \text{Age}) - 1) = N_{r207} \quad 99.2745\cdot\% \cdot C_U \cdot (\exp(\lambda_{238} \cdot \text{Age}) - 1) = N_{r206}$$

$$\frac{(\exp(\lambda_{235} \cdot \text{Age}) - 1)}{(\exp(\lambda_{238} \cdot \text{Age}) - 1)} = \frac{N_{r207} \cdot (99.2745\% \cdot C_U)}{N_{r206} \cdot (.72\% \cdot C_U)} = \frac{N_{r207} \cdot (99.2745)}{N_{r206} \cdot (.72)}$$

$$F(\text{Tid}) := \frac{\exp\left[\left(\lambda_{235} \cdot 10^9\right) \cdot \text{Tid} \cdot \text{yr}\right] - 1}{\exp\left[\left(\lambda_{238} \cdot 10^9\right) \cdot \text{Tid} \cdot \text{yr}\right] - 1} - \frac{N_{r207} \cdot (99.2745)}{N_{r206} \cdot (.72)}$$

Vi bestämmer åldern ur nollstället för denna funktions.

$tt := 1.38$

Gissning för start av iterativ lösning.

$\text{root}(F(tt), tt) = 0.113$

Svar: $1.13 \cdot 10^8$ år eller 113 miljoner år

3. a. Vad menas med ett prompt kritiskt system? (max 2p), b. Varför måste kärnexplosioner ske med prompt kritiskt system? (2p), c. Vad gör man för att öka första generationen av neutroner? (1p). Svar: a) Ett system är prompt kritiskt när $k_{\text{eff}} - 1$ är större än β . b) Annars hinner inte tillräckligt många klyvningar ske innan systemet skingras. c) Duscha anordningen med neutroner utifrån när den blivit prompt kritisk.

4. En neutronstråle har ett flöde som ökar med kvadratroten ur E_n i intervallet 0.1-0.5 eV. Naturligt Au har ett n, γ -tvärsnitt som saknar resonanser i detta energi-intervall. Tvärsnittet anges till 98.8 b i en nuklidkarta. Vad är det effektiva medeltvärsnittet i det aktuella energi-intervall? (5p)

$$\text{barn} := 10^{-28} \cdot \text{m}^2$$

$$k := 1.380658 \cdot 10^{-23} \cdot \frac{\text{joule}}{\text{K}}$$

$$m_n := 1.6749286 \cdot 10^{-27} \cdot \text{kg}$$

$$\phi(E_n) = a \cdot \sqrt{E_n}$$

$$\frac{m_n \cdot v_n^2}{2} = E_n$$

$$\sigma(v_n) = \frac{b}{v_n}$$

$$\text{eV} := 1.60217733 \cdot 10^{-19} \cdot \text{joule}$$

$$\sigma_0 := 98.8 \cdot \text{barn}$$

gäller vid 2200 m/s

$$b := \sigma_0 \cdot 2200 \cdot \text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$$

$$b = 2.174 \cdot 10^{-23} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$$

$$v_n = \sqrt{\frac{2 \cdot E_n}{m_n}}$$

$$\sigma(E_n) = \frac{b}{\sqrt{\frac{2 \cdot E_n}{m_n}}}$$

Enligt def.
gäller:

$$\sigma_{\text{avg}} = \frac{\int_{E_1}^{E_2} \phi(E_n) \cdot \sigma(E_n) dE_n}{\int_{E_1}^{E_2} \phi(E_n) dE_n}$$

$$E_1 := 0.1 \cdot \text{eV}$$

För in $\phi(E_n)$ och $\sigma(E_n)$, eliminera a och integrera.

$$E_2 := 0.5 \cdot \text{eV}$$

$$\sigma_{\text{avg}} := \frac{3}{4} \cdot \left(\sqrt{E_1} + \sqrt{E_2} \right) \cdot b \cdot \sqrt{m_n} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\left(E_1 + \sqrt{E_2} \cdot \sqrt{E_1 + E_2} \right)}$$

$$\sigma_{\text{avg}} = 29.288 \cdot \text{barn}$$

5. Vilka är de stabilaste oxidationstalen för aktiniderna i sura oxiska vattenlösningar? (4p). Svar: Ac(III), Th(IV), Pa(V), U(VI), Np(V), Pu(IV), Am(III), Cm(III), Bk(III), Cf(III), Es(III), Fm(III), Md(III), No(II) och Lr(III)

6. a. Beskriv de faktorer som ingår i 4-faktor formeln? (2p), b. Vilken av dessa påverkas mest om antalet neutroner per fission stiger? (2p). Svar: a) η = fissionsfaktorn, dvs neutronutbytet per absorption, ϵ = snabbfissionsfaktorn, dvs andelen neutroner som ger snabb fission innan de modererats, p = resonansöverlevnads-sannolikheten, dvs sannolikheten för att neutronen skall överleva medan dess energi sjunker genom resonans området, f = termiska utnyttjandefaktorn, dvs sannolikheten för att neutronen skall absorberas i en klyvbar atom. b) η .

7. a. Vilka Pu isotoper bildas i en kärnreaktor under normal drift? (2p), b. Genom vilka huvudprocesser bildas de? (2p), c. Varför bör man köra bränslet kort tid om man vill producera Pu av vapenkvalitet? (1p). Svar: a) ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu , ^{243}Pu (kortlivad) och ^{244}Pu . b) $^{241}\text{Pu}(\beta^-)^{241}\text{Am}(\alpha)^{237}\text{Np}(n,\gamma)^{238}\text{Np}(\beta^-)^{238}\text{Pu}$, $^{238}\text{U}(n,\gamma)^{239}\text{U}(\beta^-)^{239}\text{Np}(\beta^-)^{239}\text{Pu}(n,\gamma)^{240}\text{Pu}(n,\gamma)^{241}\text{Pu}(n,\gamma)^{242}\text{Pu}(n,\gamma)^{243}\text{Pu}(n,\gamma)^{244}\text{Pu}$, c) minimera uppbyggnaden av andra Pu-isotoper än ^{239}Pu .

8. a. Vad finns det för speciella risker vid arbete med aktinider? (2p), b. Hur kan dessa undvikas? (2p). Svar: a) kriticitet (α -aktivitet och giftighet, men dessa förekommer även hos icke-aktinider), b) begränsning av en eller flera av massa, moderator, koncentration, geometri så att tillräcklig marginal finns,

9. Varför utnyttjas vanligen B_4C i styrtavar till BWR medan en Ag-In-Cd legering oftast används i PWR? (2p). Svar: B_4C har bättre absorbereregenskaper vid de högre n-energier som kan uppträda i en kokare pga void medan Ag-In-Cd legeringen är bäst vid de n-energier som förekommer i tryckare.