

Lösningar till tentamen i kärnkemi ak 1999.12.17

Del A

1. Det finns radioaktiva sönderfall som leder till utsändning av monoenergetisk joniserande strålning? Vad är detta för strålslag? (2p)

Svar: Alfastrålning och gammastrålning (utsändning av efterföljande röntgenstrålning sker också, men behöver inte anges för att svaret skall anses rätt.)

2. Grenat sönderfall av ^{210}Bi leder till korta sönderfallskedjor. a) Vilka grundämnen förekommer i dessa kedjor? (3p) b) Vilka av nukliderna är isobara? (1p) c) Vilka av nukliderna är isotopa? (1p) d) Vilka är isotona? (1p) e) Vilka är isomera? (1p)

Svar: a) Kedja 1: $^{210}\text{Bi}(\beta^-)^{210}\text{Po}(\alpha)^{206}\text{Pb}$, Kedja 2: $^{210}\text{Bi}(\alpha)^{206}\text{Tl}(\beta^-)^{206}\text{Pb}$. Således är rätt svar: Tl, Pb, Bi, Po, b) ^{210}Bi och ^{210}Po samt ^{206}Tl och ^{206}Pb , c) Inga, d) Inga

3. Hur ändras massan hos en positron med hastigheten (3p)?

Svar: $m = m_0 \cdot (1 - (v/c)^2)^{-1/2}$ där m_0 är elektronens vilomassa, v är elektronens hastighet och c är ljushastigheten i vacuum.

4. Beskriv en anordning för beröringsfri mätning (genom strålningabsorption) av nivån i en silo för krossad järnmalm (skiss och förklaring). (4p)

Svar: Eftersom vi har ett system som bara innehåller ett ämne (järnmalm) kan samtliga metoder användas, som visas i fig.28 a, b och c i boken.

5. Muoner förekommer ständigt på jordens yta. Varifrån kommer dessa? (2p)

Svar: Kosmisk strålning

6. Ett index för potentiell farlighet hos radioaktivt avfall bygger på ALI-värden för inhalation. Hur beräknas denna typ av index? (2p)

Svar: För var radionuklid divideras antalet Bq med nuklidens ALI-värde för inandning (Bq/år), varefter kvoterna summeras över samtliga närvarande radionuklider.

7. Vid vilket masstal är atomkärnorna mest stabila? (2p)

Svar: Atomkärnor är mest stabila när bindningsenergin per nukleon är högst, vilket inträffar vid A ca 60 enligt figur 3.3 i boken.

8. Hur och när sker energitillförseln till jonerna i en synkrotron? (skiss och förklaring)? (4p)

Svar: Via spänningsfallet mellan accelerationselektroderna när gapet mellan dessa passerar en gång under varje varv i ringen som jonerna gör.

9. Kärnans neutron och protonnivåer bildar energistegar med olika energiavstånd mellan nivåerna. a) Vilken stege har störst avstånd mellan nivåerna? (2p) b) Varför har den det? (2p)

Svar: a) Protonstegen, b) Repulsion mellan de positivt laddade protonerna ger snabbare ökning av energin med antalet än för de oladdade neutronerna.

10. Rangordna följande grundämnen med avseende på deras förmåga att stoppa β -strålning: aluminium, vismut, krom, beryllium. (3p)

Svar: Antalet elektroner per volymsenhet anger approximativt förmågan att stoppa/sprida β -partiklar, se fig. 6.8. I första approximationen kan vi därför antaga att atomnumret ger en fingervisning om hur bra olika grundämnen är på att stoppa β -partiklar. Ordningen blir följaktligen: $\text{Be} < \text{Al} < \text{Cr} < \text{Bi}$

11. Varför används en hastighetsselektor vid massanalys? (3p)

Svar: För att bara en hastighet skall finnas hos partiklarna i ingående jonstråle till en masspektrometer.

12. Uran har i ett oxidationstillstånd joner i vattenlösning som inte är sfäriskt symmetriska. a) Vilket är detta oxidationstillstånd? (2p) b) Vilken form har dessa joner? (2p)

Svar: a) U(V) är instabilt och därför ej aktuellt U(VI) , b) Stavar ($\text{O}=\text{U}=\text{O}$).

Del B

13. En masspektrometer har en accelerationsspänning på 2 kV och en analysmagnet med fältstyrkan 0.15 T. Man vill analysera isotopsammansättningen i ett prov på xenon med denna utrustning. Hur stort blir avståndet (vinkelrätt mot rörelseriktningen) mellan centrum på linjerna från Xe^+ -joner med $A=134$ och 136 efter 90° avböjning? (10p)

Lösning:

$$u := 1.6605402 \cdot 10^{-27} \cdot \text{kg} \quad q := 1 \cdot (1.60217733 \cdot 10^{-19} \cdot \text{coul}) \quad m_e := 9.1093897 \cdot 10^{-31} \cdot \text{kg}$$

$$B := 0.15 \cdot \text{tesla} \quad U := 2 \cdot \text{KV} \quad \alpha := 90 \cdot \text{deg}$$

Vilomassorna kan beräknas ur data i utdelade blad med massöverskott. Xe har $Z=54$. Observera att massan hos den elektron som fattas måste subtraheras från vilomassan!

$$m_{134\text{Xejon}} := \left[134 + \left(\frac{-88.125078}{931.5} \right) \right] \cdot u - m_e \quad m_{134\text{Xejon}} = 2.224 \cdot 10^{-25} \cdot \text{kg}$$

$$m_{136\text{Xejon}} := \left[136 + \left(\frac{-86.431055}{931.5} \right) \right] \cdot u - m_e \quad m_{136\text{Xejon}} = 2.257 \cdot 10^{-25} \cdot \text{kg}$$

Ekv. (2.11) lyder: $m_x = \frac{q \cdot r^2 \cdot B^2}{2 \cdot U}$ Lös ut r ur denna ekvation så erhålles:

$$r = \sqrt{\frac{2 \cdot U \cdot m_x}{q \cdot B^2}} \quad \text{Den negativa roten kan inte gälla.}$$

$$r_{134\text{Xe}} := \sqrt{\frac{2 \cdot U \cdot m_{134\text{Xejon}}}{1 \cdot q \cdot B^2}} \quad r_{134\text{Xe}} = 0.497 \cdot \text{m}$$

$$r_{136\text{Xe}} := \sqrt{\frac{2 \cdot U \cdot m_{136\text{Xejon}}}{1 \cdot q \cdot B^2}} \quad r_{136\text{Xe}} = 0.5 \cdot \text{m}$$

Vid 90° avböjning har jonerna rört sig ett kvarts varv i sina cirkelformade banor, som börjar i samma punkt. Avståndet blir därför samma som skillnaden i radie för banorna ($=r$):

$$\text{separation} := r_{136\text{Xe}} - r_{134\text{Xe}} \quad \text{separation} = 3.699 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m} \quad \text{separation} = 0.37 \cdot \text{cm}$$

14. En modul av det nuklidbatteri som användes i Pioneer sonderna tillverkades av isotoprent ^{238}Pu ($t_{1/2} = 87.74$ år, $E_{\alpha} = 5.5$ MeV) och måste ge 40 W elektrisk energi 20 år efter start från jorden vid en termisk verkningsgrad på 2.5%. Hur många kg PuO_2 innehöll ett sådant batteri vid start från jorden? (10p)

Lösning:

$$\text{MeV} := 1.60217733 \cdot 10^{-13} \cdot \text{joule} \quad \text{Bq} := \text{sec}^{-1} \quad N_A := 6.0221367 \cdot 10^{23} \cdot \text{mole}^{-1}$$

Atomvikterna för ^{238}Pu , syre och PuO_2 är:

$$M_{\text{wPu}} := 238 \cdot \text{gm} \cdot \text{mole}^{-1} \quad M_{\text{wO}} := 16.00 \cdot \text{gm} \cdot \text{mole}^{-1} \quad M_{\text{wPuO}_2} := M_{\text{wPu}} + 2 \cdot M_{\text{wO}}$$

Halveringstiden och sönderfallskonstanten för ^{238}Pu är:

$$t_{1/2} := 87.74 \cdot \text{yr} \quad \lambda := \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \quad \lambda = 2.503 \cdot 10^{-10} \cdot \text{sec}^{-1}$$

Ett sönderfall av ^{238}Pu producerar en värmeenergi som motsvarar Q_{α} för ^{238}Pu :

$$E_{\alpha} := 5.5 \cdot \text{MeV} \quad Q_{\alpha} := E_{\alpha} \cdot \frac{238}{238 - 4} \quad Q_{\alpha} = 5.594 \cdot \text{MeV}$$

Verkningsgraden, η , var 2.5%, varför antalet sönderfall för produktion av 40 W el-energi blir: $\eta := 2.5\%$

$$P_{\text{el}} := 40 \cdot \text{watt} \quad P_{\text{th}} := \frac{P_{\text{el}}}{\eta} \quad P_{\text{th}} = 1.6 \cdot 10^3 \cdot \text{watt}$$

$$A_{20\text{år}} := \frac{P_{\text{th}}}{Q_{\alpha}} \quad A_{20\text{år}} = 1.785 \cdot 10^{15} \cdot \text{Bq}$$

$$\text{Korrektion till tiden för start ger: } A_0 := A_{20\text{år}} \cdot e^{\lambda \cdot 20 \cdot \text{yr}} \quad A_0 = 2.091 \cdot 10^{15} \cdot \text{sec}^{-1}$$

Nu kan vi omvandla aktivitet till antal atomer ^{238}Pu och sedan till kg av PuO_2 :

$$N_{\text{Pu}} := \frac{A_0}{\lambda} \quad N_{\text{Pu}} = 8.352 \cdot 10^{24}$$

$$m_{\text{PuO}_2} := \frac{N_{\text{Pu}}}{N_A} \cdot M_{\text{wPuO}_2} \quad m_{\text{PuO}_2} = 3.744 \cdot \text{kg}$$

15. Hur stor är kvoten hos ^{104}Ru mellan tvärsnittet för 2200 m/s neutroner och kärnans geometriska träffyta? (5p)

Lösning:

$$\text{barn} := 10^{-28} \cdot \text{m}^2 \quad \text{Kärnradiekonstanten, } r_0, \text{ är (sid 50): } r_0 := 1.4 \cdot 10^{-15} \cdot \text{m}$$

$$\text{Enligt nuklidkartan är 2200 m/s tvärsnittet för neutroner: } \sigma_{2200} := 0.47 \cdot \text{barn}$$

$$\text{Kärnans radie kan uppskattas ur ekv. 3.7: } r_{^{104}\text{Ru}} := r_0 \cdot 104^{\frac{1}{3}}$$

$$\text{Detta ger en geometrisk träffyta på: } \sigma_{\text{geom}} := \pi \cdot r_{^{104}\text{Ru}}^2$$

$$\text{Den sökta kvoten blir nu: } \frac{\sigma_{2200}}{\sigma_{\text{geom}}} = 0.345$$

16. Vad blir doshastigheten (Gy/timme) 4 m från en liten volym ^{137}Cs -lösning som innehåller 1 GBq? Försumma absorptionen i luft och build-up faktorn. (5p)

Lösning:

$$\text{GBq} := 10^9 \cdot \text{Bq} \qquad \text{Gy} := \frac{\text{joule}}{\text{kg}} \qquad A := 1 \cdot \text{GBq}$$

I nuklidkartan kan vi se att ^{137}Cs står i radioaktiv jämvikt med den kortlivade dottern $^{137\text{m}}\text{Ba}$, som utsänder 0.662 MeV γ . Av figur 4.5 (rättad) framgår vidare att detta enda γ utsänds i 85.2% av alla sönderfall hos ^{137}Cs . Doshastighetskonstanten k_i kan nu avläsas i fig. 7.2.

$$n_i := 85.2\% \qquad k_i := 25 \cdot 10^{-18} \cdot \left(\frac{\text{Gy} \cdot \text{m}^2}{\text{Bq} \cdot \text{sec}} \right) \qquad B_i := 1 \qquad r := 4 \cdot \text{m}$$

$$dDdt := A \cdot r^{-2} \cdot n_i \cdot k_i \cdot B_i \qquad dDdt = 4.793 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{\text{Gy}}{\text{hr}} \right)$$

17. Vid mätning av β^- från ett preparat som innehåller ^{90}Sr och ^{90}Y i störd jämvikt vill man hindra ^{90}Sr att påverka mätningen av β^- från ^{90}Y genom att täcka preparatet med en aluminiumplåt. Hur tjock bör denna vara? (10p)

Lösning:

Enligt nuklidkartan har ^{90}Sr ett $E_{\beta\text{max}}$ på 0.5 MeV och ^{90}Y 2.3 MeV. Figur 6.12 i boken ger maximala räckvidden i aluminium för β^- -partiklar av olika energi. Tätheten hos aluminium är 2.6989 g/cm³ vid 20 C och kan hittas i en tabell i slutet av omslaget till nuklidkartan. Ur dessa data kan tjockleken, d_{Al} , beräknas som följer:

$$\rho_{\text{Al}} := 2.6989 \cdot \text{gm} \cdot \text{cm}^{-3}$$

$$\text{Avläst ur figur 6.12:} \quad E_{\beta} := 0.5 \cdot \text{MeV} \quad R_{\text{Al}} := 1.7 \cdot 10^{-1} \cdot \frac{\text{gm}}{\text{cm}^2}$$

$$d_{\text{Al}} := \frac{R_{\text{Al}}}{\rho_{\text{Al}}} \quad d_{\text{Al}} = 0.63 \cdot \text{mm}$$