

Lösningar till tentamen i Kärnkemi av den 22 januari 2000 kl. 0845 - 1245

Del A

1. Sönderfall av ^{212}Pb leder till sönderfallsskedjor som slutar på ^{208}Pb . a) Vilka grundämnen förekommer i dessa korta kedjor? (3p) Svar: Po, Bi, Pb och Tl, b) Vilka av nukliderna är isobara? (1p) Svar: ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{212}Po och ^{208}Pb , ^{208}Tl , c) Vilka av nukliderna är isotopa? (1p) Svar: ^{212}Pb , ^{208}Pb , d) Vilka av nukliderna är isotona? (1p) Svar: Inga, e) Vilka av nukliderna är isomera? (1p) Svar: Inga
2. Vilka delar ingår i en masspektrometer? (Svara med skiss och förklarande text) (3p) Svar: se läroboken figur 2.2.
3. Vilka typer av radioaktivt sönderfall kan förekomma hos alla neutronfattiga nuklider? (2p) Svar: β^+ och EC.
4. Vilka konstanter gäller vid radioaktivt sönderfall? (5p) Svar: Energins konstant, rörelsemomentets konstant, laddningens konstant, masstalets konstant, rotationsmomentets konstant
5. ^{220}Rn förekommer i en av de långa sönderfallsserierna. Vilken? (1p) Svar: Torium- eller 4n-serien
6. Sambandet mellan räkne- och sönderfallshastighet ges genom en ekvation av typen $R = \Psi \cdot A$. Vilka är de olika verkningsgrader som ingår i Ψ ? (3p) Svar: Ψ_{det} , Ψ_{res} , Ψ_{geom} , Ψ_{back} , Ψ_{self} , Ψ_{abs} (se läroboken sid. 231)
7. Frickedosismetern är en vattenlösning av ett antal olika kemikalier. Vilka ingår vanligen? (2p) Svar: $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$, NaCl och H_2SO_4 .
8. Vad kan man göra för att skilja mellan β -partiklar av låg och hög energi i en Cerenkovdetektor? (2p) Svar: Välja lämpligt värde på mediets brytningsindex så att lågenergielektronerna har en hastighet under ljushastigheten i mediet medan högenergielektronerna fortfarande överskrider ljushastigheten.
9. Vilka krav gäller för att en radioaktivt märkt substans skall anses vara radiokemiskt ren? (2p) Svar: Bara en radionuklid och bara en märkt kemisk förening.
10. Vad består en neutron av enligt QCD-modellen? (1p) Svar: Kvarkar: två ned- och en upp-kvark.
11. Totala energin i ett system kan skrivas som summan av en eller flera energitermer. Vilka är dessa? (3p) Svar: E_{kin} , E_{coul} , E_{mass}^0 , E_{exc} , E_{v} (se ekv. 12.9, sid. 337 i läroboken)
12. I bland placeras en tunn folie i strålgången mellan två seriekopplade acceleratorer. a) Vad kallas denna folie? (1p) Svar: Stripper, b) Vad har den för funktion? (1p) Svar: Öka jonladdningen
13. Vad kallas inversen på det makroskopiska tvärsnittet? (1p) Svar: Medelväglängden
14. Vad är Szilard-Chalmers processen? (3p) Svar: Metod för anrikning av bärarfri radionuklid via γ -rekylseparation från ett isotopiskt target.
15. Ett av de tyngsta grundämnena heter Seaborgium. Vilket atomnummer har detta? (1p) Svar: 106
16. Hur beräknas värdet på den biologiska helkroppsverkan av bestrålning? (ekvation) (2p) Svar: Via ekvationen $H_E = \sum w_T \sum w_R D_{T,R}$.

Del B

17. Vid ett sjukhus elueras rutinmässigt ^{132}I från en isotopgenerator. Enligt tillverkaren skall generatören kunna leverera $1.00 \text{ TBq } ^{132}\text{I}$ när den anländer kl 1900 var fredag kväll. Eluering sker kl 0800 på måndag morgon och tar bara en minut. Eluatet uppsamlas i en cylindrisk flaska med höjd = diameter = 1 cm. Flaskan fylls helt med eluat. Vad blir då dosraten (mSv/h) 20 cm från den nyfyllda flaskan centrum? ^{132}I sönderfaller med β - under utsändning av 523 keV (16%), 630 keV (14%), 668 keV (99%), 773 keV (76%) och 955 keV (18%) γ -kvanta. (10p)

Lösning: Modernukliden i isotopgeneratören är ^{132}Te med halveringstiden 76.3 timmar (Tabell 4.1, sid. 89 i läroboken).

Först några definitioner av sorter och konstanter:

$$\begin{aligned} \text{Bq} &:= \text{sec}^{-1} & \text{Sv} &:= \text{joule} \cdot \text{kg}^{-1} & \text{Gy} &:= \text{joule} \cdot \text{kg}^{-1} & \text{keV} &:= 1.60217733 \cdot 10^{-16} \cdot \text{joule} \\ \text{mSv} &:= 10^{-3} \cdot \text{Sv} & \text{mGy} &:= 10^{-3} \cdot \text{Gy} & \text{MeV} &:= 10^3 \cdot \text{keV} \end{aligned}$$

Vid leveransen på fredag kl 19.00 gällde: $A_0 := 10^{12} \cdot \text{Bq}$ $t_{1/2\text{Te}} := 76.3 \cdot \text{hr}$ $\lambda_{\text{Te}} := \frac{\ln(2)}{t_{1/2\text{Te}}}$

På måndag morgon kl 08.00 har $3 \cdot 24 - 11$ timmar förflutit: $\Delta t := (3 \cdot 24 - 11) \cdot \text{hr}$ $\Delta t = 61 \cdot \text{hr}$

$$A := A_0 \cdot e^{-\lambda_{\text{Te}} \cdot \Delta t} \quad A = 5.746 \cdot 10^{11} \cdot \text{Bq}$$

Från texten i uppgiften och fig. 7.2 erhålles följande data:

$$\begin{aligned} E_\gamma = 523 \text{ keV:} & \quad n_1 := 16\% & k_1 &:= 20 \cdot 10^{-18} \cdot \text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1} \\ E_\gamma = 630 \text{ keV:} & \quad n_2 := 14\% & k_2 &:= 24 \cdot 10^{-18} \cdot \text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1} \\ E_\gamma = 668 \text{ keV:} & \quad n_3 := 99\% & k_3 &:= 25 \cdot 10^{-18} \cdot \text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1} \\ E_\gamma = 773 \text{ keV:} & \quad n_4 := 76\% & k_4 &:= 28 \cdot 10^{-18} \cdot \text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1} \\ E_\gamma = 955 \text{ keV:} & \quad n_5 := 18\% & k_5 &:= 35 \cdot 10^{-18} \cdot \text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1} \end{aligned}$$

Avståndet 20 cm ger: $r := 0.2 \cdot \text{m}$

Eftersom ingenting sägs om absorption i olika medier försummar vi detta och sätter alla B-värden till 1.

$$B_1 := 1 \quad B_2 := 1 \quad B_3 := 1 \quad B_4 := 1 \quad B_5 := 1$$

Vidare betraktar vi flaskan som en punktkälla. Dosraten kan nu beräknas via ekv. 7.9:

$$\text{Dosrat} := \frac{A}{r^2} \cdot \sum_{i=1}^5 n_i \cdot k_i \cdot B_i \quad \text{Dosrat} = 3045 \cdot \frac{\text{mGy}}{\text{hr}}$$

men vi kan sätta omräkningsfaktorn mellan Gy och Sv till 1 för gamma, varför vi får svaret

$$\text{Dosrat} = 3045 \cdot \frac{\text{mSv}}{\text{hr}}$$

18. En ^{204}Tl -standard hade aktiviteten 2.9 kBq (+2%) kl 1200 den 1/12 1995. Den 1/12 1999 mättes preparatet med en GM-detektor varvid 60142 pulser erhöles under 5 minuter. Ett annat ^{204}Tl -preparat med okänd aktivitet mättes strax efteråt med samma detektor (identiska betingelser) under 10 minuter varvid 42741 pulser registrerades. Detektorn gav sedan 2094 pulser under 10 minuter utan något radioaktivt preparat. Vad var aktiviteten (Bq) hos det okända preparatet och hur stor var osäkerheten i detta värde (%)? (10p)

Lösning: Halveringstiden för ^{204}Tl är 3.78 år enligt nuklidkartan. Vi anser att detta värde saknar osäkerhet när feluppskattningen görs.

$$t_{1/2\text{Tl}} := 3.78 \cdot \text{yr} \quad \lambda_{\text{Tl}} := \frac{\ln(2)}{t_{1/2\text{Tl}}} \quad \lambda_{\text{Tl}} = 5.811 \cdot 10^{-9} \cdot \text{sec}^{-1}$$

Från 1/12 1995 till 1/12 1999 har 4 hela år förflutit: $\Delta t := 4 \cdot \text{yr}$

TL-standardens ursprungliga aktivitet var: $A_{0\text{std}} := 2900 \cdot \text{Bq}$

Vår TL-standard har då aktiviteten: $A_{\text{std}} := A_{0\text{std}} \cdot e^{-\lambda_{\text{Tl}} \cdot \Delta t} \quad A_{\text{std}} = 1.393 \cdot 10^3 \cdot \text{Bq}$

Mätning av bakgrunden gav: $R_0 := \frac{2094}{10 \cdot \text{min}} \quad R_0 = 3.49 \cdot \text{Bq}$

Mätning av standarden gav: $R_{\text{std}} := \frac{60142}{5 \cdot \text{min}} \quad R_{\text{std}} = 200.473 \cdot \text{sec}^{-1}$

Mätning av det okända provet gav: $R_{\text{prov}} := \frac{42741}{10 \cdot \text{min}} \quad R_{\text{prov}} = 71.235 \cdot \text{sec}^{-1}$

Beräkning av nettoaktiviteterna: $R_{\text{stdnetto}} := R_{\text{std}} - R_0 \quad R_{\text{stdnetto}} = 196.983 \cdot \text{sec}^{-1}$

$R_{\text{provnetto}} := R_{\text{prov}} - R_0 \quad R_{\text{provnetto}} = 67.745 \cdot \text{sec}^{-1}$

Eftersom mätverkningsgraden var samma i båda fallen kan den elimineras genom att dividera ekvationerna.

$$\frac{A_{\text{std}}}{R_{\text{stdnetto}} \cdot \Psi} = \frac{A_{\text{prov}}}{R_{\text{provnetto}} \cdot \Psi} \quad \text{Vilket ger uttrycket:} \quad A_{\text{prov}} := A_{\text{std}} \cdot \frac{R_{\text{provnetto}}}{R_{\text{stdnetto}}}$$

$$A_{\text{prov}} = 478.956 \cdot \text{Bq}$$

Nu gör vi feluppskattningen:

$$s_{\text{std}} := 2\% \cdot A_{\text{std}} \quad s_0 := \sqrt{\frac{R_0}{10 \cdot \text{min}}} \quad s_{\text{stdmät}} := \sqrt{\frac{R_{\text{std}}}{5 \cdot \text{min}}} \quad s_{\text{provmät}} := \sqrt{\frac{R_{\text{prov}}}{10 \cdot \text{min}}}$$

$$s_{\text{provnetto}} := \sqrt{s_{\text{std}}^2 + (s_{\text{stdmät}}^2 + s_0^2) + (s_{\text{provmät}}^2 + s_0^2)} \quad s_{\text{provnetto}} = 27.868 \cdot \text{Bq}$$

$$\frac{s_{\text{provnetto}}}{A_{\text{prov}}} = 5.818 \cdot \%$$

19. Ett prov på en aluminiumlegering, vikt 15.1 g, och ett prov innehållande 1 g rent vatten bestrålades tillsammans 5 minuter med snabba neutroner från en n-generator. Vid mätning av Al-provet med en scintillationsdetektor erhöles 1120 pulser netto i toppen med energin 6129 keV (^{16}N). Mätningen, som påbörjades 10 sekunder efter bestrålningens slut, skedde under 10 sekunder. Vattenprovet mättes exakt på samma plats under 1 minut med början 30 sekunder efter uttag. Därvid erhöles 2005 pulser netto i toppen med energin 6129 keV. Vad var legeringens syrehalt i %? (10p).

Lösning: Halveringstiden för ^{16}N är 7.13 s enligt nuklidkartan. Observera att alla mättider är så långa att sönderfall under mätningen inte kan försummas. Vi börjar med att beräkna mängden syre i 1 g vatten:

$$M_{\text{wO}} := 16.00 \cdot \text{gm} \cdot \text{mole}^{-1} \quad M_{\text{wH}} := 1.008 \cdot \text{gm} \cdot \text{mole}^{-1} \quad N_{\text{A}} := 6.0221367 \cdot 10^{23} \cdot \text{mole}^{-1}$$

$$M_{\text{wH}_2\text{O}} := 2 \cdot M_{\text{wH}} + M_{\text{wO}} \quad M_{\text{wH}_2\text{O}} = 18.016 \cdot \text{gm} \cdot \text{mole}^{-1}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} := 1 \cdot \text{gm} \quad m_{\text{Ovatten}} := m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \frac{M_{\text{wO}}}{M_{\text{wH}_2\text{O}}} \quad m_{\text{Ovatten}} = 0.888 \cdot \text{gm}$$

$$m_{\text{prov}} := 15.1 \cdot \text{gm} \quad t_{1/2} := 7.13 \cdot \text{sec} \quad \lambda := \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \quad \lambda = 0.097 \cdot \text{sec}^{-1}$$

Båda proven bestrålas så lång tid att mättningsaktivitet uppnås. Mätningen av Al-provet ger då:

$$t_{\text{väntaAl}} := 10 \cdot \text{sec} \quad \Delta t_{\text{Al}} := 10 \cdot \text{sec} \quad N_{\text{Al}} := 1120$$

$$N_{0\text{Al}} = \frac{\phi \cdot \sigma \cdot \frac{m_{\text{OAl}}}{M_{\text{wO}}} \cdot N_{\text{A}}}{\lambda} \cdot e^{-\lambda \cdot t_{\text{väntaAl}}} \quad \text{n-aktivering} \quad N_{\text{Al}} = \Psi \cdot N_{0\text{Al}} \cdot \left(1 - e^{-\lambda \cdot \Delta t_{\text{Al}}}\right) \quad \text{mätningen}$$

$$N_{\text{Al}} = \Psi \cdot \frac{\phi \cdot \sigma \cdot \frac{m_{\text{OAl}}}{M_{\text{wO}}} \cdot N_{\text{A}}}{\lambda} \cdot \exp(-\lambda \cdot t_{\text{väntaAl}}) \cdot \left(1 - \exp(-\lambda \cdot \Delta t_{\text{Al}})\right) \quad \text{Antal mätta pulser från Al-provet}$$

På motsvarande sätt erhålls för vattenprovet:

$$t_{\text{väntaH}_2\text{O}} := 30 \cdot \text{sec} \quad \Delta t_{\text{H}_2\text{O}} := 60 \cdot \text{sec} \quad N_{\text{H}_2\text{O}} := 2005$$

$$N_{\text{H}_2\text{O}} = \Psi \cdot \frac{\phi \cdot \sigma \cdot \frac{m_{\text{Ovatten}}}{M_{\text{wO}}} \cdot N_{\text{A}}}{\lambda} \cdot \exp(-\lambda \cdot t_{\text{väntaH}_2\text{O}}) \cdot \left(1 - \exp(-\lambda \cdot \Delta t_{\text{H}_2\text{O}})\right) \quad \text{Antal mätta pulser från H}_2\text{O}$$

Om vi nu dividerar dessa ekvationer så kan vi sedan korta bort flöde, tvärsnitt, mätverkningsgrad, mm.

$$\frac{N_{\text{Al}}}{N_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{\Psi \cdot \frac{\phi \cdot \sigma \cdot \frac{m_{\text{OAl}}}{M_{\text{wO}}} \cdot N_{\text{A}}}{\lambda} \cdot \exp(-\lambda \cdot t_{\text{väntaAl}}) \cdot \left(1 - \exp(-\lambda \cdot \Delta t_{\text{Al}})\right)}{\Psi \cdot \frac{\phi \cdot \sigma \cdot \frac{m_{\text{Ovatten}}}{M_{\text{wO}}} \cdot N_{\text{A}}}{\lambda} \cdot \exp(-\lambda \cdot t_{\text{väntaH}_2\text{O}}) \cdot \left(1 - \exp(-\lambda \cdot \Delta t_{\text{H}_2\text{O}})\right)}$$

$$\frac{N_{\text{Al}}}{N_{\text{H}_2\text{O}}} = m_{\text{OAl}} \cdot \left(-1 + \exp(-\lambda \cdot \Delta t_{\text{Al}})\right) \cdot \frac{\exp[\lambda \cdot (-t_{\text{väntaAl}} + t_{\text{väntaH}_2\text{O}})]}{\left[m_{\text{Ovatten}} \cdot \left(-1 + \exp(-\lambda \cdot \Delta t_{\text{H}_2\text{O}})\right)\right]}$$

Här är bara massan av syre i Al-provet, m_{OAl} , okänt och kan lösas ut:

$$m_{\text{OAl}} := \frac{-N_{\text{Al}}}{N_{\text{H2O}} \cdot \left[\frac{\exp\left[\lambda \cdot (-t_{\text{väntaAl}} + t_{\text{väntaH2O}})\right]}{\left[m_{\text{Ovatten}} \cdot (-1 + \exp(-\lambda \cdot \Delta t_{\text{H2O}}))\right]} - \frac{\exp\left[\lambda \cdot (-t_{\text{väntaAl}} + t_{\text{väntaH2O}})\right]}{\left[m_{\text{Ovatten}} \cdot (-1 + \exp(-\lambda \cdot \Delta t_{\text{H2O}}))\right]} \cdot \exp(-\lambda \cdot \Delta t_{\text{Al}}) \right]}$$

$$m_{\text{OAl}} = 0.114 \cdot \text{gm}$$

Syrehalten i Al-provet blir då: $x_{\text{O}} := \frac{m_{\text{OAl}}}{m_{\text{prov}}} \quad x_{\text{O}} = 0.754 \cdot \%$

20. En cyklotron levererar $^{18}\text{O}^{2+}$ joner med energin 40 MeV. Efter ett Au-target ($3\text{mg}/\text{cm}^2$) placerades en Faraday-kopp. Under en 10 minuters bestrålning med konstant ström uppsamlades 0.112 mC från Faraday-koppen. Beräkna strålens intensitet i antal syrejoner per sekund. (10p)

Lösning: Vid passagen av Au-target ökar syrejonernas laddning. Vi behöver därför först beräkna deras medelladdning efter passagen med hjälp av ekv. 13.2 och sedan använda detta värde för att omvandla den uppmätta strömmängden till partikelintensitet med hjälp av ekv. 13.3.

$$Z_{\text{O}} := 8 \quad c := 299792458 \cdot \text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$$

Hastigheten erhålles ur jonernas vilomassa och deras energi: $E_{\text{kin}} := 40 \cdot \text{MeV}$

$$E_{\text{kin}} = \Delta m \cdot c^2 \quad m_0 := \frac{M_{\text{wO}}}{N_A} \quad \Delta m := \frac{E_{\text{kin}}}{c^2} \quad m_{\text{jon}} := m_0 + \Delta m$$

Lorenz transformen (ekv. 4.19) ger sedan sambandet:

$$m_{\text{jon}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_{\text{jon}}}{c}\right)^2}} \quad \text{vilket ger:} \quad v_{\text{jon}} := c \cdot \sqrt{1 - \frac{m_0^2}{m_{\text{jon}}^2}} \quad v_{\text{jon}} = 2.192 \cdot 10^7 \cdot \text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$$

$$\text{Nu tillämpar vi ekv. 13.2:} \quad z := Z_{\text{O}} \cdot \left[1 + \left(\frac{v_{\text{jon}}}{3.6 \cdot 10^6 \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}} \cdot Z_{\text{O}}^{0.45}} \right)^{-1.67} \right]^{-0.6} \quad z = 7.053$$

Och slutligen ekv. 13.3: $i = q_e \cdot z \cdot I_0$ där I_0 är jonstrålens intensitet i partiklar/sekund

$$q_e := 1.60217733 \cdot 10^{-19} \cdot \text{coul} \quad Q := 0.112 \cdot 10^{-6} \cdot \text{coul} \quad \Delta t := 10 \cdot \text{min}$$

$$\text{Den elektriska strömstyrkan nu ges av:} \quad i := \frac{Q}{\Delta t} \quad i = 1.867 \cdot 10^{-10} \cdot \text{amp}$$

$$I_0 := \frac{i}{q_e \cdot z} \quad I_0 = 1.652 \cdot 10^8 \cdot \text{sec}^{-1}$$