

## Del A

1. Ange de fullständiga namnen på grundämnena Ac, Tc, Pa och Sg. (2p). Svar: Aktinium (1/2 p), Teknetium (1/2p), Protaktinium (1/2p) och Seaborgium (1/2p).

2.a) Vilka nuklider ingår i den sönderfallskedja som börjar med  $^{210}\text{Rn}$ ? (2p), b) Vilka av nukliderna i a) är isotopa? (1p), c) Vilka av nukliderna är isobara? (1p), d) Vilka är isotona? (1p). Svar: a)  $^{210}\text{Rn}(\alpha, \epsilon)$  försummas  $^{206}\text{Po}(\alpha, \epsilon)$  ger två fortsättningar  $(\alpha)^{202}\text{Pb}(\epsilon)^{202}\text{Tl}(\epsilon)^{202}\text{Hg}(\text{stabil})$  och  $(\epsilon)^{206}\text{Bi}(\epsilon)^{206}\text{Pb}(\text{stabil})$  varför nukliderna blir  $^{210}\text{Rn}$ ,  $^{206}\text{Po}$ ,  $^{202}\text{Pb}$ ,  $^{202}\text{Tl}$ ,  $^{202}\text{Hg}$ ,  $^{206}\text{Bi}$ ,  $^{206}\text{Pb}$ . b)  $^{206}\text{Pb}$  och  $^{202}\text{Pb}$ . c) Två grupper isobarer: i)  $^{202}\text{Pb}$ ,  $^{202}\text{Tl}$ ,  $^{202}\text{Hg}$  och ii)  $^{206}\text{Po}$ ,  $^{206}\text{Bi}$ ,  $^{206}\text{Pb}$ . c) Två par isotoner: i)  $^{210}\text{Rn}$ ,  $^{206}\text{Pb}$  samt ii)  $^{206}\text{Po}$ ,  $^{202}\text{Hg}$ .

3. Beskriv en anordning för mätning av tjockleken hos papper i löpande bana genom strålningsabsorption. (2p) Svar: Se lärobokens figur 6.28 F och texten i andra stycket på sid 160 i boken.

4. Vad menas med massdefekt (ekvation)? (1p). Svar:  $\Delta M_{A,Z} = M_{A,Z} - (A-Z) M_n - Z M_H$

5. Hur omvandlas doserna till olika organ till en effektiv ekvivalentdos? (2p). Svar:  $H_E = \sum w_T \sum w_R D_{T,R}$  där  $w_T$  är vikt faktorn för varje träffat organ och  $w_R$  är vikt faktorn för det strålslag som träffat organet.

6. Stabiliteten hos atomkärnor varierar enligt  $u-u < u-j \sim j-u < j-j$ . Varför? (3p). Svar: Nukleonerna ingår parvis med motsatta spinn i kärnans energinivåer. På grund av elektrostatisk repulsion är energiskillnaden mellan energinivåerna för protoner större än för neutroner. Vi får således två olika serier av energinivåer. När en udda proton och en udda neutron finns hamnar dessa ensamma i översta energinivån hos respektive energisteg, vilket ger maximalt energisprång från föregående sammansättning med bara en udda nukleon och därigenom högre energi per nukleon, dvs minst stabilitet. När båda nivåerna är fyllda (j-j)-kärnor är energin per nukleon minst vid detta antal nukleoner, dvs kärnan är stabilast.

7.  $^{99m}\text{Tc}$  sönderfaller till  $^{99}\text{Tc}$  genom utsändning av ett  $\gamma$ -kvanta med energin 141.0 keV. a) Vad är Q-värdet för reaktionen? (2p), b) Hur stor blir dotternuklidens rekylenergi? (2p), c) Om massöverskottet för  $^{99}\text{Tc}$  är -8.73244 MeV, vad är då vilomassan hos  $^{99m}\text{Tc}$  i u? (2p). Svar: a) (omvandla  $m_0 c^2$  till energi)

$$A := 99 \quad E_\gamma := 141 \quad E_d := \frac{E_\gamma^2}{2 \cdot A \cdot 931.5} \quad E_d = 0.108 \quad Q_\gamma := E_\gamma + E_d \quad Q_\gamma = 141.108$$

$$\delta M := -8.73244 \quad M := 99 + \frac{\delta M + \frac{Q_\gamma}{1000}}{931.5} \quad M = 98.99078$$

8. Vid uppmätning av  $\gamma$ -spektrum från ett starkt  $^{60}\text{Co}$ -preparat med en HPGe detektor observerar man gammalinjer med energier i keV enligt följande. Förklara vad dessa linjer heter och hur de uppkommer. (5p). a) 8.3, b) 310.5, c) 511.0, d) 663.0, e) 821.5, f) 1173.2, g) 1332.5, h) 1684.2, i) 1843.5, j) 2505.7. Svar: a) K-röntgen från Ni (dottern), b) dubbel "escape"  $1332.5 - 2 \cdot 511.0 = 310.5$ , c) annihilation (parbildning från 1332.5 keV gamma ger positroner), d) okänd, e) enkel "escape"  $1332.5 - 511.0 = 821.5$ , f) fototopp  $\gamma_1$  från  $^{60}\text{Co}$ , g) fototopp  $\gamma_2$  från  $^{60}\text{Co}$ , h), i) och j) är summatoppar  $1173.2 + 511.0$ ,  $1332.5 + 511.0$  och  $1173.2 + 1332.5$ .

9. Vilka krav ingår i begreppet "radiokemisk renhet" för en märkt organisk förening? (1p). Svar: i) endast en radioaktiv nuklid, ii) endast en märkt förening.

10. Naturligt gallium bestrålas med termiska neutroner under 2 timmar. a) Vilka nuklider bildas? (2p), b) Vilken av produkterna bildas i störst mängd (vikt)? (1p), c) Vilken av nukliderna har störst sönderfallshastighet vid bestrålningens slut? (1p). Svar: Naturligt gallium består av isotoperna  $^{69}\text{Ga}$  (60.1% och  $\sigma_{n,\gamma}$  2.68 barn) och  $^{71}\text{Ga}$  (39.9% och  $\sigma_{n,\gamma}$  4.71 barn). a)  $^{70}\text{Ga}$  ( $t_{1/2}$  21.15 m) ur  $^{69}\text{Ga}$  och  $^{72}\text{Ga}$  ( $t_{1/2}$  14.1 h) ur  $^{71}\text{Ga}$ . b) Använd sambandet  $N = N_0 \times \sigma \phi (1 - \exp(-\lambda t)) / \lambda$  för både  $^{70}\text{Ga}$  och  $^{72}\text{Ga}$  samt dividera ekv. så erhålles en kvot  $N(^{70}\text{Ga})/N(^{72}\text{Ga})$  där  $N_0$  och  $\phi$  kan förkortas bort. Eftersom kvoten blir  $< 1$  finns det mest atomer av  $^{72}\text{Ga}$  vid bestrålningens slut. c) Aktivitetsförhållandet kan beräknas genom att kvoten mellan N-värdena multipliceras med kvoten mellan halveringstiderna  $t_{1/2}(^{72}\text{Ga})/t_{1/2}(^{70}\text{Ga})$ . Då även detta resultat blir  $< 1$  kommer  $^{70}\text{Ga}$  att ha högst aktivitet. Med tider i minuter erhålls:

$$NKVOT := \frac{\frac{0.601 \cdot \exp\left(\frac{-\ln(2)}{21.15} \cdot 2 \cdot 60\right)}{\ln(2)}}{\frac{0.399 \cdot \exp\left(\frac{-\ln(2)}{14.1 \cdot 60} \cdot 2 \cdot 60\right)}{\ln(2)}} \quad RKVOT := NKVOT \cdot \left(\frac{14.1 \cdot 60}{21.15}\right)$$

$$NKVOT = 8.139 \cdot 10^{-4}$$

$$RKVOT = 0.033$$

11. Förklara begreppet g-värde. (2p). Svar: g-värdet anger hur många mol som bildas (eller förbrukas) per Gy absorberad dos.

12. Beskriv hur ett GM-rör fungerar. (3p). Svar: Se läroboken §8.3.3, sid 210 och 211.

13. Hur fungerar en mass spektrometer (skiss med förklaring)? (4p). Svar: Se läroboken fig. 2.2 och §2.3.1, sid 14.

Del B

14. En cancersökande antikropp märks med  $^{211}\text{At}$  ( $t_{1/2}$  7.214 timmar,  $E_\alpha$  5.868 MeV, 41.7%  $\alpha$ , resterande sönderfall sker via  $\epsilon$ ). Om 50 MBq märkt antikropp injiceras i blodet och tas upp av en tumör (vikt 20 g) med en konstant relativ hastighet (fördubblingstid 2 timmar) vad blir totala dosen till hela tumören (Sv) (försumma dosen från elektroner)? (10p). Lösning:

$$\begin{aligned} \text{MeV} &:= 1.60217733 \cdot 10^{-13} \cdot \text{joule} & Bq &:= \text{sec}^{-1} & t_{1/2} &:= 7.214 \cdot \text{hr} & \lambda &:= \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \\ A_0 &:= 50 \cdot 10^6 \cdot Bq & E_\alpha &:= 5.868 \cdot \text{MeV} & n_\alpha &:= 41.7\% & m_{org} &:= 20 \cdot \text{gm} \\ A_{org}(t) &:= A_0 \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-\ln(2)}{2 \cdot \text{hr}} \cdot t\right)\right) \cdot \exp(-\lambda \cdot t) & Gy &:= \frac{\text{joule}}{\text{kg}} & w_R &:= 20 & Sv &:= \frac{\text{joule}}{\text{kg}} \\ D_{org} &:= \frac{E_\alpha \cdot n_\alpha}{m_{org}} \cdot w_R \cdot \int_{0 \cdot \text{hr}}^{200 \cdot \text{hr}} A_{org}(t) dt & D_{org} &= 575.026 \cdot Sv \end{aligned}$$

15. En superledande cyklotron levererar  $^{238}\text{U}^{20+}$  joner med energin 30 MeV/u. Efter target placeras en Faraday-kopp. Under en 15 minuters bestrålning uppsamlades 10 mC från denna kopp. Beräkna medelflödet av  $^{238}\text{U}$ -joner under bestrålningen med hänsyn till de uppsamlade jonernas genomsnittsladdning (st/sekund). (10p). Lösning:

$$\begin{aligned} t_{irr} &:= 15 \cdot \text{min} & E_U &:= 30 \cdot 238 \cdot \text{MeV} & E_U &= 7.14 \cdot 10^3 \cdot \text{MeV} & q &:= 10 \cdot 10^{-3} \cdot \text{coul} \\ m_{U0} &:= 238 \cdot (1.6605402 \cdot 10^{-27} \cdot \text{kg}) & v_{klass} &:= \sqrt{\frac{2 \cdot E_U}{m_{U0}}} & v_{klass} &= 7.609 \cdot 10^7 \cdot \text{m} \cdot \text{sec}^{-1} \end{aligned}$$

Detta visar att vi måste beakta relativistiska effekter, varför vi börjar om med beräkningen av v.

$$\begin{aligned} m_U &= \frac{m_{U0}}{\sqrt{1 - \beta^2}} & c &:= 299792458 \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}} & (m_U - m_{U0}) \cdot c^2 &= E_U \\ \left(\frac{m_{U0}}{\sqrt{1 - \beta^2}} - m_{U0}\right) \cdot c^2 &= E_U & \beta &:= \sqrt{1 - m_{U0}^2 \cdot \frac{c^4}{(-m_{U0} \cdot c^2 - E_U)^2}} & \beta &= 0.248 \end{aligned}$$

$$v_U := \beta \cdot c \quad v_U = 7.43 \cdot 10^7 \cdot \text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$$

$$z_{eff} := 92 \cdot \left[1 + \left(\frac{v_U}{3.6 \cdot 10^6 \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}} \cdot 92^{0.45}}\right)^{-1.67}\right]^{-0.6} \quad z_{eff} = 82.855 \quad I := \frac{q}{t_{irr}}$$

$$I = 1.111 \cdot 10^{-5} \cdot \text{amp} \quad I_0 := \frac{I}{1.60217733 \cdot 10^{-19} \cdot \text{coul} \cdot z_{eff}} \quad I_0 = 8.37 \cdot 10^{11} \cdot \text{sec}^{-1}$$

16. För att bestämma platinahalten i ett smycke, vikt 7.3g, bestrålades detta under 5 timmar med termiska neutroner från en AmBe källa omgiven av paraffinmoderator. Efter bestrålningens slut väntade man några minuter innan smycket mättes med en HPGe-detektor. Mätningen påbörjades 10.0 minuter efter uttag ur bestrålningsanordningen och skedde under 40 minuter. Därvid registrerades 2570 pulser i en topp med energin 543 keV. Tillsammans med smycket bestrålades 1.0 g rent platina i samma position. Detta prov mättes i samma geometri som smycket under 4.0 minuter med början 5.5 minuter efter uttag. Därvid erhöles 3105 pulser netto i toppen med energin 543 keV. Vad var smyckets platinahalt (i vikts %)? (10p)

Den använda  $\gamma$ -linjen härstammar från  $^{199}\text{Pt}$  enligt nuklidkartan:  $\lambda := \frac{\ln(2)}{30.8 \cdot \text{min}}$

$$m_{\text{smycke}} := 7.3 \cdot \text{gm} \quad t_{\text{coolsmykke}} := 10.0 \cdot \text{min} \quad t_{\text{msmycke}} := 40 \cdot \text{min}$$

$$m_{\text{ref}} := 1.0 \cdot \text{gm} \quad t_{\text{coolref}} := 5.5 \cdot \text{min} \quad t_{\text{mref}} := 4.0 \cdot \text{min}$$

Observera att de använda mättiderna inte är försumbara i jämförelse med halveringstiden.

Alternativa sätt att lösa problemet finns. Den enklaste är följande: Beräkna först det pulstal  $\Delta N$  som skulle erhållits om Pt-standarden hade mätts med samma tidsfördröjning och mättid som användes för smycket. Härigenom undviker vi n-flöde, tvärsnitt, isotopbråk och verkningsgrad för detektorn. Den okända Pt-mängden kan sedan beräknas med enkel proportionalitet mellan Pt-vikter och pulstal. Halten fås sedan genom att dividera den beräknade Pt-mängden hos smycket med smyckets vikt. Tänk nu på att följande gäller vid långa mättider (i stället för  $A = \Psi \cdot \Delta N / \Delta t$ ):

$$\Delta N = \Psi \cdot N_t (1 - \exp(-\lambda \cdot \Delta t)) \quad \text{där } t \text{ anger tiden för mätningens början}$$

Beräkningen blir därför som följer ( $\Psi$  är samma och divideras bort):

$$\Delta N_{\text{StdRecalc}} := \frac{3105 \cdot \exp(\lambda \cdot t_{\text{coolref}})}{(1 - \exp(-\lambda \cdot t_{\text{mref}}))} \cdot \exp(-\lambda \cdot t_{\text{coolsmykke}}) \cdot (1 - \exp(-\lambda \cdot t_{\text{msmycke}}))$$

$$\Delta N_{\text{StdRecalc}} = 1.935 \cdot 10^4 \quad \frac{m_{\text{Ptsmycke}}}{m_{\text{ref}}} = \frac{2570}{\Delta N_{\text{StdRecalc}}} \quad m_{\text{Ptsmycke}} := \frac{2570}{\Delta N_{\text{StdRecalc}}} \cdot m_{\text{ref}}$$

$$m_{\text{Ptsmycke}} = 0.1328 \cdot \text{gm} \quad p_{\text{Pt}} := \frac{m_{\text{Ptsmycke}}}{m_{\text{smycke}}} \quad p_{\text{Pt}} = 1.82 \cdot \%$$

17. Vid ett universitet diskuterar en grupp forskare möjligheten att försöka syntetisera grundämne 116 genom att bestråla en target av  $^{248}\text{Cm}$  med  $^{48}\text{Ca}$ -joner. a) Vilken är den lägsta energi av sådana joner som kan ge compoundkärnreaktioner i targetmaterialet? (6p) b) Om kalciumjonerna har en jonladdning på 10+, vilket K-värde måste då en cyklotron minst ha för att kunna användas i ett sådant experiment? (4p). Lösning:

$$E_{\text{cbmin}} := 1.109 \cdot \text{MeV} \cdot (48 + 248) \cdot \left[ \frac{20 \cdot 96}{248 \cdot \left( \frac{1}{48^3} + \frac{1}{248^3} \right)} \right] \quad \text{Ekvation (12.14)}$$

$$E_{\text{cbmin}} = 256.267 \cdot \text{MeV}$$

$$z := 10 \quad A := 48 \quad \frac{E}{A} = K_{\text{cycl}} \cdot \left( \frac{z}{A} \right)^2 \quad K_{\text{cycl}} = E \cdot \frac{A}{z^2}$$

$$K_{\text{cycl}} := 256.267 \cdot \frac{48}{10^2} \quad K_{\text{cycl}} = 123.008$$