Ledtrådar (Ergo Fysik 1)

Nedan följer ledtrådar och lösningshjälp till några av uppgifterna i *Ergo Fysik 1* av Kvist med flera (femte upplagans första tryckning).

Detta är en tidig version. Säg gärna till om du hittar konstigheter eller saknar någon uppgift!

Notera att Ergo skriver sönderfallslagen som en exponentialfunktion med basen $\frac{1}{2}$,

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T_{1/2}},$$

medan formelsamlingen använder talet e som bas:

$$N = N_0 e^{-\lambda \cdot t},$$

där

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

är *sönderfallskonstanten*.

Kapitel 11

Metodruta 11.X: Masstal,

En nuklid (en viss sorts atom med avseende på kärnsammansättning) betecknas allmänt

$${}^{A}_{Z}\mathrm{X},$$

där Z är antalet protoner, A masstalet, det vill säga antalet protoner och neutroner, och X är den kemiska beteckningen.

11-1 ...

11-2 Tänk på att det som står uppe till vänster är nukleontalet, det vill säga summan av antalet protoner och neutroner. Antalet protoner fås genom att ta reda på atomnumret, till exempel i periodiska systemet.

11-3 Tänk på att det som skall stå uppe till vänster är nukleontalet, det vill säga summan av antalet protoner och neutroner. Vilket ämne det är fråga om kan tas reda på genom att titta i periodiska systemet.

11-4 ...

11-5 Tänk på att elektronerna alltid är medräknade i nuklidmassor, så för att få kärnmassan måste elektronens massa subtraheras. Elektronens, neutronens och protonens massa finns i början av formelsamlingen (tänk på att 1 u = $1{,}660539 \cdot 10^{-27}$ kg).

Metodruta 11.X: Kärnors stabilitet

bla bla [ej klart]

11-6 ...

11-7 ...

11-8 Se s. 335 i boken om magiska tal för en slags förklaring.

11-9 Se s. 335 i boken om magiska tal för en slags förklaring.

11-10 Tänk på att i kärnreaktioner (förutom betasönderfall) är alltid antalet neutroner och antalet protoner bevarade.

11-11 Tänk på att i kärnreaktioner (förutom betasönderfall) är alltid antalet neutroner och antalet protoner bevarade.

11-12 Alfapartiklar är heliumkärnor (${}^{4}_{2}\mathrm{He}^{2+}$, skrivs oftast bara ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$).

11-13 Relativitetsteori (mer om detta senare i kursen) ger att massenergin hos ett stycke materia är $E_0 = mc^2$, där m är massan och c är ljushastigheten ($3{,}00 \cdot 10^8$ m/s). Tänk på att Wh är en energienhet (1 Wh = 1 W $\cdot$ 3 600 s = 3 600 J).

11-14 Bestäm först hur mycket energi som solen avger på en sekund ($W = Pt$). Bestäm sedan massminskningen med hjälp av $\Delta E_0 = \Delta m \cdot c^2$.

11-15 ...

11-16 Tänk på att kärnor med protontal större än ungefär 60 kan nå tillstånd med mindre massa per nukleon genom *fission*, medan kärnor med protontal mindre än ungefär 60 kan nå tillstånd med mindre massa per nukleon genom *fusion*.

11-17 ...

11-18 (a) Tänk på att ${}^{1}_{1}\mathrm{H}$ är en proton. (b) Bestäm först massdifferensen (0,018 624 u). Frigjorda energin kan sedan beräknas med $\Delta E_0 = \Delta m \cdot c^2$.

11-19 (a) Tänk på att alfapartiklar är heliumkärnor (${}^{4}_{2}\mathrm{He}$). (b) Bestäm först massdifferensen (0,024 019 u). Frigjorda energin kan sedan beräknas med $\Delta E_0 = \Delta m \cdot c^2$. (c) Tänk på att ökningen av sammanlagda rörelseenergin måste vara lika med den frigjorda energin.

11-20 (a) Tänk på att alfastrålning består av heliumkärnor (${}^{4}_{2}\mathrm{He}$). (b) Tänk på att vid β^--sönderfall omvandlas en neutron till en proton i kärnan och en elektron (${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$) samt en antineutrino ($\overline{\nu}$) skickas iväg. (c) Tänk på att ingen kärnomvandling sker vid utsändande av gammastrålning. (d) Tänk på att vid β^+-sönderfall omvandlas en proton till en neutron i kärnan och en antielektron (positron, ${}^{0}_{1}\mathrm{e}$) samt en neutrino (ν) skickas iväg.

11-21 ${}^{235}\mathrm{U}$ sönderfaller med α-sönderfall (se nuklidtabellen i formelsamlingen) till ${}^{231}\mathrm{Th}$, som i sin tur sönderfaller med β-sönderfall.

11-22 Tänk på att ett α-sönderfall innebär att protontalet *minskar* med 2, och att ett β-sönderfall innebär att protontalet *ökar* med 1. Nya protontalet blir alltså $92 - 7 \cdot 2 + 4 \cdot 1 = 82$. Tänk också på att nukleontalet minskar med 4 vid ett α-sönderfall. Vid β-sönderfall är nukkleontalet oförändrat.

11-23 Tänk på att alfastrålning består av heliumkärnor ($^4_2$He). Bestäm först massdifferensen (0,005 229 u). Frigjorda energin kan sedan beräknas med $\Delta E_0 = \Delta m \cdot c^2$.

11-24 . . .

11-25 (a) Tänk på att vid β^--sönderfall omvandlas en neutron till en proton och en elektron ($^{\ 0}_{-1}$e) samt en antineutrino ($\overline{\nu}$) skickas iväg. (b) Bestäm först massdifferensen (0,000 020 u). Frigjorda energin kan sedan beräknas med $\Delta E_0 = \Delta m \cdot c^2$. I det här fallet kommer den frigjorda energin att fördelas mellan den ivägskickade elektronen och antineutrinon.

Observera att vid vanligt β-sönderfall (β^-) får vi korrekt massdifferens genom att beräkna differensen mellan nuklidmassorna. Detta inses genom att göra en noggrann beräkning av massdifferensen:

$$\begin{aligned}\Delta m &= \big[\text{kärnmassa före}\big] - \big[\text{kärnmassa efter + betaelektronens massa}\big]\\ &= [m(^3\text{H}) - 1m_e] - [m(^3\text{He}) - 2m_e + 1m_e]\\ &= m(^3\text{H}) - m(^3\text{He})\\ &= (3{,}016049 - 3{,}016029)\text{ u}\\ &= 0{,}000020\text{ u}.\end{aligned}$$

11-26 . . .

11-27 (a) Tänk på att vid β^--sönderfall omvandlas en neutron till en proton och en elektron ($^{\ 0}_{-1}$e) samt en antineutrino ($\overline{\nu}$) skickas iväg. (b) Bestäm först massdifferensen (0,000 270 u). Frigjorda energin kan sedan beräknas med $\Delta E_0 = \Delta m \cdot c^2$. I det här fallet kommer den frigjorda energin att fördelas mellan den ivägskickade elektronen och antineutrinon.

Observera att vid vanligt β-sönderfall (β^-) får vi korrekt massdifferens genom att beräkna differensen mellan nuklidmassorna. Detta inses genom att göra en noggrann beräkning av massdifferensen:

$$\begin{aligned}\Delta m &= \big[\text{kärnmassa före}\big] - \big[\text{kärnmassa efter + betaelektronens massa}\big]\\ &= [m(^{66}\text{Ni}) - 28m_e] - [m(^{66}\text{Cu}) - 29m_e + 1m_e]\\ &= m(^{66}\text{Ni}) - m(^{66}\text{Cu})\\ &= (65{,}929139 - 65{,}928869)\text{ u}\\ &= 0{,}000270\text{ u}.\end{aligned}$$

11-28 Tänk på att alfasönderfall innebär att en heliumkärna ($^4_2$He) skickas iväg. Bestäm först massdifferensen (0,004 584 u). Frigjorda energin kan sedan beräknas med $\Delta E_0 = \Delta m \cdot c^2$.

11-29 Den högra delen av figuren är ett energinivådiagram för en ^{198}Hg-kärna (tolkas på liknande sätt som de energinivådiagram för väte-atomen som finns i bokens avsnitt 10.3, och som du kanske känner igen från kemi-kursen, men tänk på differensen mellan *atom* och *kärna*). (a) Tänk på att om den nya kärnan inte hamnar i grundtillståndet direkt, utan i ett exciterat tillstånd, så kommer en del av den frigjorda energin att lagras i den exciterade kärnan. Betapartiklarnas energi blir då "den frigjorda energin – den lagrade energin". (b) Om en ^{198}Hg-kärna gör en övergång direkt från det andra exciterade tillståndet till grundtillståndet kommer en energimängd $(1{,}08 + 0{,}659) \cdot 10^{-13}$ J att avges i form av en gammafoton (ett gammakvanta).

11-30 . . .

11-31 Eftersom massan m är proportionell mot antalet kärnor N så kan sönderfallslagen skrivas på formen $m = m_0(\frac{1}{2})^{t/T_{1/2}}$. Insättning i denna formel ger sökta massorna.

11-32 Använd sönderfallslagen $N = N_0(\frac{1}{2})^{t/T_{1/2}}$.

11-33 Låt den sökta tiden vara x år. Insättning av detta och $m_0 = 4{,}0$ mg och $m = 1{,}0$ mg i sönderfallslagen $m = m_0(\frac{1}{2})^{t/T_{1/2}}$ ger en exponentialekvation som kan lösas genom logaritmering.

11-34 . . .

11-35 Använd aktivitetslagen $A = A_0(\frac{1}{2})^{t/T_{1/2}}$.

11-36 Låt åldern vara x år. Insättning av detta och $N = 0{,}15N_0$ i sönderfallslagen $N = N_0(\frac{1}{2})^{t/T_{1/2}}$ ger en exponentialekvation ($0{,}15 = 0{,}5^{x/5730}$) som kan lösas genom logaritmering.

11-37 (a) Startaktiviteten fås genom att sätta in $A = 142$ kBq, $t = 7{,}5$ h och $T_{1/2} = 4{,}5$ h i aktivitetslagen $A = A_0(\frac{1}{2})^{t/T_{1/2}}$. (b) Använd aktivitetslagen $A = A_0(\frac{1}{2})^{t/T_{1/2}}$ med värdet på A_0 från (a)-uppgiften.

11-38 Låt halveringstiden vara x h. Insättning av detta och värden i aktivitetslagen $A = A_0(\frac{1}{2})^{t/T_{1/2}}$ ger en exponentialekvation ($17 = 54 \cdot 0{,}5^{10/x}$) som kan lösas genom logaritmering.

11-39 . . .

11-40 . . .

11-41 . . .

11-42 . . .

11-43 Tänk på att i kärnreaktioner (förutom betasönderfall) är alltid antalet neutroner och antalet protoner bevarade.

11-44 Beräkna först hur mycket energi, uttryckt i energienheten Wh (1 Wh = 1 W · 3 600 s = 3 600 J), en sådan reaktor kan ge (om vi gör det tveksamma antagandet att den köras dygnet runt, året runt) (8,76 TWh).

11-45 (b) Hur lång är halveringstiden för ^{239}Pu?

11-46 (a) Bestäm först hur många ^{235}U-kärnor (lika med antalet atomer) det finns i 1,0 kg ^{235}U ($\frac{1{,}0\text{ kg}}{(235 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27})\text{ kg}} = 2{,}56 \cdot 10^{24}$). (b) Sökta tiden fås ur $E = Pt$. (c) På ett år går det 8 760 h. Hur mycket uran går åt om det tar 9,1 h att klyva 1,0 kg? (d) Använd vanlig procenträkning med värdet från (c)-uppgiften.

11-47 (a) Beräkna först hur många deuteriumkärnor det finns i 1,0 kg deuterium (tänk på att en deuteriumkärna har massan

$2 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27}$) kg. Tänk sedan på att det behövs *två* deuteriumkärnor för en reaktion, och bestäm antalet reaktioner som kan fås från 1,0 kg deuterium ($1{,}5 \cdot 10^{26}$). (b) Räkna först om Sveriges årliga elenergianvändning till J genom att använda att $1 \text{ Wh} = 1 \text{ W} \cdot 3\,600 \text{ s} = 3\,600 \text{ J}$ ($5{,}04 \cdot 10^{17}$ J). Använd resultatet från (a)-uppgiften för beräkna hur mycket elenergi 1,0 kg deuterium kan ge ($3{,}1 \cdot 10^{13}$ J). Hur många kg deuterium behövs då?

11-48 (a) Bestäm först massdifferensen (0,018 883 u). Frigjorda energin kan sedan beräknas med $\Delta E_0 = \Delta m \cdot c^2$. (b) Antag att det finns lika många deuterium- som tritiumkärnor, och bestäm antalet ($\frac{1{,}0 \text{ kg}}{[(2+3) \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27}] \text{ kg}} = 1{,}2 \cdot 10^{26}$). Tänk på att Wh är en energienhet ($1 \text{ Wh} = 1 \text{ W} \cdot 3\,600 \text{ s} = 3\,600 \text{ J}$).

11-49 (a) Använd att "absorberad dos = absorberad energi / kroppsvävnadens massa". (b) Tänk på att kvalitetsfaktorn för α-strålning är 20. (c) Tänk på att kvalitetsfaktorn för γ-strålning är 1.

11-50 ...

11-51 (a) Beräkna först absorberad dos, och tänk då på att kvalitetsfaktorn för α-strålning är 20. Använd sedan att "absorberad dos = absorberade energi / kroppsvävnadens massa". (b) Gör på liknande sätt som i (a), men tänk på att kvalitetsfaktorn för γ-strålning är 1.

11-52 Tänk på att aktiviteten ger antalet sönderfall per sekund. Då kan antalet sönderfall per år beräknas ($1{,}041 \cdot 10^{11}$). Beräkna sedan den sammanlagda rörelseenergin hos alla elektroner från dessa sönderfall. Detta är lika med den absorberade energin, om vi antar att all energi absorberas i kroppen. (b) Använd att "absorberad dos = absorberad energi / kroppsvävnadens massa", och tänk på att kvalitetsfaktorn för β-strålning är 1.

11-53 Beräkna först aktiviteten per g blod när blodprovet tas (32,42 kBq/g). Beräkna sedan motsvarande aktivitet 1,5 timmar senare med hjälp av aktivitetslagen (27,26 kBq/g). Hur många g blod behövs det då för att ge upphov till aktiviteten 131 kBq? ($\frac{131}{27{,}26}$)