

9 Kernfysica

3 havo

9.1 Radioactieve straling

- 1***
- a** Uit welke deeltjes bestaat de atoomkern.
- uit protonen en uit neutronen
- b** Welke deeltjes bevinden zich in schillen om de atoomkern.
- de elektronen
- 2***
- a** Hoeveel protonen, neutronen en elektronen zijn er aanwezig in ${}^7\text{Li}$?
- opzoeken: Li heeft atoomnummer 3 \rightarrow 3 protonen
 - massagetal is 7 $\rightarrow 7 - 3 = 4$ neutronen
 - aantal elektronen = aantal protonen = 3
- b** Hoeveel protonen, neutronen en elektronen zijn er aanwezig in ${}^{40}\text{Ar}$?
- opzoeken: Ar heeft atoomnummer 18 \rightarrow 18 protonen
 - massagetal is 40 $\rightarrow 40 - 18 = 22$ neutronen
 - aantal elektronen = aantal protonen = 18
- c** Hoeveel protonen, neutronen en elektronen zijn er aanwezig in ${}^{238}\text{U}$?
- opzoeken: U heeft atoomnummer 92 \rightarrow 92 protonen
 - massagetal is 238 $\rightarrow 238 - 92 = 146$ neutronen
 - aantal elektronen = aantal protonen = 92
- 3*** Vul de tabel in.

atoom	aantal protonen	massagetal	aantal neutronen
lithium Li	3	7	4
natrium Na	11	23	$23 - 11 = 12$
cobalt Co	27	$27 + 32 = 59$	32
goud Au	79	$79 + 118 = 197$	118
ijzer Fe	26	56	$56 - 26 = 30$
molybdeen Mo	42	99	$99 - 42 = 57$

lood Pb	82	208	$208 - 82 = 126$
uranium U	92	$92 + 146 = 238$	146
plutonium Pu	94	244	$244 - 94 = 150$

4* Geef het aantal protonen en noteer de isotoop in de juiste notatie.

atoom	aantal protonen	aantal neutronen	notatie 1	notatie 2
helium He	2	1	${}^3_2\text{He}$	He-3
koolstof C	6	8	${}^{14}_6\text{C}$	C-14
zuurstof O	8	10	${}^{18}_8\text{O}$	O-18
silicium Si	14	16	${}^{30}_{14}\text{Si}$	Si-30
kalium K	19	22	${}^{41}_{19}\text{K}$	K-41
ijzer Fe	26	33	${}^{59}_{26}\text{Fe}$	Fe-59
zilver Ag	47	63	${}^{110}_{47}\text{Ag}$	Ag-110
kwik Hg	80	123	${}^{203}_{80}\text{Hg}$	Hg-203
lood Pb	82	132	${}^{214}_{82}\text{Pb}$	Pb-214

- 5*
- a Noem de drie verschillende soorten radioactieve straling.
- α -straling, β -straling en γ -straling
- b Welke soort straling bestaat uit de zwaarste deeltjes?
- α -straling heeft massagetal 4 en heeft de zwaarste deeltjes
- c Welke soort straling bestaat uit lichtdeeltjes (fotonen)?
- γ -straling
- d Wat is het verschil tussen β^- -straling en β^+ -straling?
- β^- -straling bestaat uit elektronen
 - β^+ -straling bestaat uit positronen

- 6*
- a Zoek het atoomnummer van Pu op.
- Pu (plutonium) heeft atoomnummer 94
- b Hoeveel protonen heeft een Pu kern?
- het aantal protonen is gelijk aan het atoomnummer \rightarrow 94 protonen

- c** Bereken de lading van een Pu kern.
- $94 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 1,506 \cdot 10^{-17} \text{ C}$
- d** Leg uit hoeveel elektronen een Pu atoom heeft.
- atoomnummer 94 dus er zijn 94 elektronen
- e** Bereken het aantal neutronen in een Pu-244 kern.
- massagetal is 244 $\rightarrow 244 - 94 = 150$ neutronen
- f** Zoek op welk type straling Pu-244 voornamelijk uitzendt.
- voornamelijk α -straling

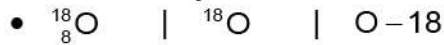
7**

- a** Leg uit tot welk element dit atoom behoort.
- 30 protonen \rightarrow atoomnummer is 30 \rightarrow Zn (zink)
- b** Zoek het aantal isotopen van dit element op.
- 7 isotopen
- c** Zoek op welke isotopen van dit element radioactief zijn.
- Zn-65 en Zn-69 zijn radioactief
- d** Zoek op welk isotoop van dit element β^- straling uitzendt.
- ${}_{30}^{69}\text{Zn}$ zendt β^- straling uit
- e** Leg uit hoe je door de uitgezonden straling te meten erachter kunt komen met welk isotoop je te maken hebt.
- Zn-65 zendt β^+ straling uit en Zn-69 zendt β^- straling uit
 - door te meten of de uitgezonden deeltjes positief of negatief zijn geladen kun je erachter komen of je met Zn-65 of met Zn-69 te maken hebt
- f** Zoek op welke isotopen van dit element γ straling uitzenden.
- ${}_{30}^{65}\text{Zn}$ zendt γ -straling uit (fotonen)

8*

- a** Zoek op hoeveel isotopen zuurstof heeft.
- zuurstof heeft 5 isotopen (massagetal 15, 16, 17, 18 en 19)
- b** Welke isotopen van zuurstof komen voor op aarde?
- de isotopen met massagetal 16, 17 en 18 komen op aarde voor
- c** Welke zuurstofisotoop komt het meest voor op aarde?
- atoommassa 16 komt het meest voor (99,76%)
- d** Bereken van het ${}^{18}\text{O}$ isotoop het aantal neutronen in de kern.
- atoomnummer is 8 en het massagetal is 18 $\rightarrow 18 - 8 = 10$ neutronen

e Geef het symbool van dit isotoop in drie verschillende notaties.



f Geef de reactievergelijking van het verval van het ${}^{15}\text{O}$ isotoop.



g Geef de reactievergelijking van het verval van het ${}^{19}\text{O}$ isotoop.

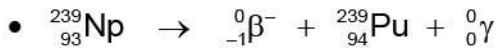
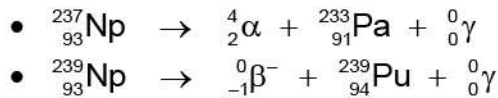


9**

a Zoek van ieder isotoop op welke straling hij uitzendt.

- ${}^{237}_{93}\text{Np}$ zendt α -straling en γ -straling uit
- ${}^{239}_{93}\text{Np}$ zendt β^- -straling en γ -straling uit

b Stel voor het verval van beide isotopen de reactievergelijking op.

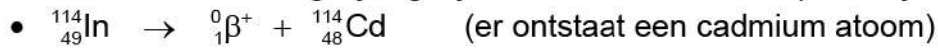


10**

a Geef de vervalvergelijking bij het uitzenden van een β^- deeltje.

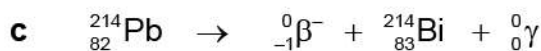


b Geef de vervalvergelijking bij het uitzenden van een β^+ deeltje.



11***

Maak de reactievergelijkingen compleet.



9.2 De snelheid van radioactief verval

Halveringstijd

- 1***
- a** Bereken het aantal neutronen in een U-238 kern.
- U-238 \rightarrow ${}_{92}^{238}\text{U}$
 - aantal neutronen is $238 - 92 = 146$
- b** Bereken het aantal neutronen in een U-235 kern.
- U-235 \rightarrow ${}_{92}^{235}\text{U}$
 - aantal neutronen is $235 - 92 = 143$
- c** Vergelijk de halveringstijden van U-238 en U-234 en verklaar hiermee waarom U-234 veel minder voorkomt op aarde.
- de halveringstijd van U-234 is veel kleiner dan die van U-238
 - U-234 valt sneller uit elkaar dan U-238 en komt daarom minder voor op aarde
- 2***
- a** Zoek de halveringstijden van S-31 en van Si-32 op.
- Si-31 \rightarrow $t_{1/2}$ is 2,6 uur | Si-32 \rightarrow $t_{1/2}$ is 150 jaar.
- b** Welke van deze isotopen is het stabielst?
- bij een grote halveringstijd is het verval langzaam
 - hoe groter de halveringstijd hoe stabielere de isotoop is
 - Si-32 is stabielere dan Si-31
- c** Verwacht je dat één van deze isotopen op aarde voorkomt?
- de halveringstijd is erg klein ten opzichte van de leeftijd van de aarde
 - op aarde komen deze isotopen niet voor (tenzij ze ontstaan bij een kernreactie)
- 3***
- a** Leg met eigen woorden uit wat de halveringstijd is.
- de halveringstijd is de tijd waarin de helft van de radioactieve kernen verval
- b** Hoeveel radioactieve kernen zijn er aanwezig na 1 dag.
- na 1 dag is nog $\frac{1}{2}$ aanwezig $\rightarrow \frac{1}{2} \cdot 1000 = 500$ kernen
- c** Hoeveel radioactieve kernen zijn er aanwezig na 2 dagen.
- na 2 dagen is nog $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ aanwezig $\rightarrow \frac{1}{4} \cdot 1000 = 250$ kernen
- d** Hoeveel radioactieve kernen zijn er aanwezig na 3 dagen.
- na 3 dagen is nog $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$ aanwezig $\rightarrow \frac{1}{8} \cdot 1000 = 125$ kernen

4****a** Zoek de halveringstijd van P-30 op.

- opzoeken: $t_{1/2} = 2,50$ minuten

b Hoeveel kernen zijn er aanwezig na 5 minuten?

- na 5 minuten is nog $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ aanwezig $\rightarrow \frac{1}{4} \cdot 8000 = 2000$ kernen

c Hoeveel kernen zijn er aanwezig na 10 minuten?

- na 10 minuten is nog $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{16}$ aanwezig $\rightarrow \frac{1}{16} \cdot 8000 = 500$ kernen

d Hoeveel kernen zijn er in 10 minuten vervallen?

- in het begin zijn er 8000 kernen en na 10 minuten zijn er nog 500 aanwezig
- in 10 minuten zijn $8000 - 500 = 7500$ kernen vervallen

5****a** Zoek de halveringstijd van P-33 op.

- opzoeken: $t_{1/2} = 25,3$ dagen

b Na hoeveel tijd is de 75% van het gemaakte P-33 vervallen?

- er is nog 25% aanwezig
- 100% \rightarrow 50% \rightarrow 25%
- 25% is aanwezig na 2 keer de halveringstijd
- 2 keer de halveringstijd: $t = 2 \cdot 25,3 = 50,6$ dagen

OOK GOED

- er is nog 1/4 deel aanwezig
- $\frac{1}{4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}$
- 2 keer de halveringstijd: $t = 2 \cdot 25,3 = 50,6$ dagen

c Na hoeveel tijd is van het gemaakte ^{33}P nog 6,25% over?

- 100% \rightarrow 50% \rightarrow 25% \rightarrow 12,5% \rightarrow 6,25%
- 6,25% is aanwezig na 4 keer de halveringstijd
- 4 keer de halveringstijd: $t = 4 \cdot 25,3 = 101,2$ dagen

OOK GOED

- 6,25% over \rightarrow 1/16 deel aanwezig
- $\frac{1}{16} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}$
- 4 keer de halveringstijd: $t = 4 \cdot 25,3 = 101,2$ dagen

6****a** Zoek de halveringstijd van C-14 op.

- opzoeken: $t_{1/2} = 5730$ jaar

b Hoe oud is de ploeg?

- er is nog 1/4 deel over

- $\frac{1}{4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}$
- 2 keer de halveringstijd: $t = 2 \cdot 5730 = 11.460$ jaar

7* a** Na hoeveel tijd is 7,0 gram van het toegediende ^{131}I vervallen?

- 7 gram is vervallen → er is nog 1 gram aanwezig
- $\frac{1}{8}$ deel is aanwezig
- $\frac{1}{8} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}$
- opzoeken $t_{1/2} = 8,0$ dagen
- drie keer de halveringstijd: $t = 3 \cdot 8 = 24$ dagen

b Na hoeveel tijd is 93,75% van het toegediende ^{131}I vervallen?

- 93,75% vervallen → er is nog $100 - 93,75 = 6,25\%$ aanwezig
- $100\% \rightarrow 50\% \rightarrow 25\% \rightarrow 12,5\% \rightarrow 6,25\%$
- 6,25% is aanwezig na 4 keer de halveringstijd
- 4 keer de halveringstijd → $t = 4 \cdot 8 = 32$ dagen

OOK GOED

- $\frac{100}{6,25} = 16$
- er is nog $\frac{1}{16}$ deel aanwezig
- $\frac{1}{16} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}$
- 4 keer de halveringstijd → $t = 4 \cdot 8 = 32$ dagen

8* a** Bereken de halveringstijd van deze stof.

- $100\% \rightarrow 50\% \rightarrow 25\% \rightarrow 12,5\%$
- 12,5% is aanwezig na 3 keer de halveringstijd
- 3 keer de halveringstijd is 24 uur
- $3 \cdot t_{1/2} = 24 \rightarrow t_{1/2} = 8$ uur

OOK GOED

- 12,5% over = $\frac{1}{8}$ deel over
- $\frac{1}{8} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}$
- 3 keer de halveringstijd is 24 uur
- $3 \cdot t_{1/2} = 24 \rightarrow t_{1/2} = 8$ uur

b Bereken hoeveel procent van deze stof is vervallen na 16 uur.

- $\frac{16}{8} = 2$
- 16 uur is 2 keer de halveringstijd

- $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$
- $\frac{1}{4}$ deel is $\frac{100}{4} = 25\%$ is aanwezig
- er is $100 - 25 = 75\%$ vervallen

c Bereken hoeveel procent van deze stof is vervallen na 48 uur.

- $\frac{48}{8} = 6$
- 48 uur is 6 keer de halveringstijd
- $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{64}$
- $\frac{1}{64}$ deel is $\frac{100}{64} = 1,56\%$ is aanwezig
- er is $100 - 1,56 = 98,4\%$ vervallen

9***

a Welke straling zendt deze isotoop uit?

- opzoeken: $^{137}_{55}\text{Cs}$ zendt β^- -straling en γ -straling uit

b Hoeveel procent van de oorspronkelijke hoeveelheid Cs-137 is er nog aanwezig na 150 jaar.

- opzoeken $t_{1/2} = 30$ jaar
- $\frac{150}{30} = 5$
- 150 jaar is 5 keer de halveringstijd
- $\left(\frac{1}{2}\right)^5 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{32}$
- $\frac{1}{32}$ deel is $\frac{100}{32} = 3,125\%$ → na 150 jaar is er nog 3,125% aanwezig

c Hoeveel procent van de oorspronkelijke hoeveelheid Cs-137 is er nog aanwezig na 300 jaar.

- $\frac{300}{30} = 10$
- 300 jaar is 10 keer de halveringstijd
- $\left(\frac{1}{2}\right)^{10} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{1024}$
- $\frac{1}{1024}$ deel is $\frac{100}{1024} = 0,0977\%$ → na 300 jaar is er nog 0,0977% aanwezig

d In welk jaar is het aantal Cs-137 kernen afgenomen tot 12,5% van de oorspronkelijke hoeveelheid?

- $100\% \rightarrow 50\% \rightarrow 25\% \rightarrow 12,5\%$
- 12,5% is aanwezig na 3 keer de halveringstijd

- $3 \cdot 30 = 90$ jaar $\rightarrow 1986 + 90 = 2076$
 - in 2076 is het aantal cesium-137 kernen afgenomen tot 12,5%
- e** In welk jaar het aantal aanwezige Cs-137 kernen afgenomen tot 1,5625% van de oorspronkelijke hoeveelheid?
- $100\% \rightarrow 50\% \rightarrow 25\% \rightarrow 12,5\% \rightarrow 6,25\% \rightarrow 3,125\% \rightarrow 1,5625\%$
 - 1,5625% is aanwezig na 6 keer de halveringstijd
 - $6 \cdot 30 = 180$ jaar
 - $1986 + 180 = 2166$
 - in 2166 is het aantal cesium-137 kernen afgenomen tot 1,5625%

OOG GOED

- $\frac{100}{1,5625} = 64$
- er is nog 1/64 deel aanwezig
- $\left(\frac{1}{2}\right)^6 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{64}$
- na zes keer de halveringstijd is er 1/64 deel over
- $6 \cdot 30 = 180$ jaar
- $1986 + 180 = 2166$
- in 2166 is het aantal cesium-137 kernen afgenomen tot 1,5625%

10**

- a** Hoe groot de halveringstijd?
- op $t = 0$ zijn er 900 kernen
 - na 4,0 uur zijn er 450 kernen
 - de halveringstijd is 4,0 uur
- b** Hoeveel kernen zijn er na 24 uur aanwezig?
- $\frac{24}{4} = 6 \rightarrow 24$ uur is 6 keer de halveringstijd
 - $\left(\frac{1}{2}\right)^6 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{64}$
 - na 24 uur zijn er $\frac{900}{64} = 14$ kernen aanwezig
- c** Hoeveel kernen zijn er na 24 h vervallen?
- op $t = 0$ zijn er 900 kernen en na 24 uur zijn er 14 kernen
 - na 24 uur zijn er $900 - 14 = 886$ kernen vervallen

11**

- a** Hoe groot is de halveringstijd?
- op $t = 0$ is er 0,18 gram
 - na 23 uur is er 0,09 gram
 - de halveringstijd is 23 uur

b Na hoeveel tijd is er 3,125% van de oorspronkelijke hoeveelheid aanwezig?

- $100\% \rightarrow 50\% \rightarrow 25\% \rightarrow 12,5\% \rightarrow 6,25\% \rightarrow 3,125\%$
- 3,125% is aanwezig na 5 keer de halveringstijd
- $5 \cdot 23 = 115 \rightarrow$ na 115 uur is 3,125% aanwezig

c Hoeveel gram is er in deze tijd vervallen?

- 3,125% aanwezig $\rightarrow 100 - 3,125 = 96,875\%$ is vervallen
- op $t = 0$ is er 0,18 gram
- $0,18 \cdot \frac{96,875}{100} = 0,174375 = 0,174$ gram is vervallen

Activiteit

GEEN OPGAVEN

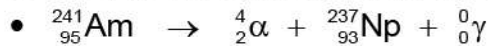
9.3 Ioniserende straling

- 1***
- a** Leg uit wat met de dracht van een deeltje wordt bedoeld.
- de afstand die het deeltje in een stof kan afleggen
- b** Leg uit wat met het ioniserend vermogen wordt bedoeld.
- het vermogen om van een atoom een elektron te verwijderen en er een positief ion van te maken
- 2****
- a** Leg uit waarom dit het geval is.
- de energie van het binnenkomende deeltje is beschikbaar om ionisaties te maken
 - hoe meer energie beschikbaar is hoe meer ionisaties gemaakt kunnen worden
 - meer ionisaties kunnen maken geeft een grotere indringdiepte
- b** Leg uit waarom dit het geval is.
- α -deeltjes zijn groot en hebben een dubbele positieve lading
 - hierdoor hebben ze veel interactie met de stof waar ze doorheen gaan
 - op hun weg door de stof verliezen ze snel energie
 - in korte afstand door de stof hebben ze al hun energie verloren
- c** Leg uit waarom dit het geval is.
- een kleine dracht wordt veroorzaakt door snel verlies van energie van het deeltje
 - bij een groot ioniserend vermogen is het energieverlies bij iedere botsing groot
 - in korte afstand raakt het deeltje al zijn energie kwijt
- d** Leg uit waarom dit het geval is.
- in een stof met een hoge dichtheid zijn veel atomen per volume of hebben de atomen een grote massa
 - bij een stof met een grotere dichtheid zullen de α - en β -deeltjes veel atomen tegenkomen of worden ze per botsing veel afgeremd
 - als α - en β -deeltjes veel worden afgeremd is de dracht (indringdiepte) klein
- e** Leg uit waarom dit het geval is.
- fotonen hebben geen elektrische lading
 - fotonen hebben minder interactie met atomen en worden daarom minder snel afgeremd
- 3****
- a** Leg uit of je het beste een α -straler een β -straler of een γ -straler kunt gebruiken.
- α -straling kan je niet gebruiken want dat komt niet door de wand van de pijp
 - γ -straling komt wel door de wand maar bereikt ook mensen op grote afstand
 - β -straling is het beste, want komt door de wand maar gaat niet ver door de lucht

- b** Als je kunt kiezen tussen het toevoegen van ^{131}I (jood-131) en ^{32}Si (silicium-32) welke van deze kun je dan het beste gebruiken?
- opzoeken: de halveringstijd van ^{131}I is 8 dagen
 - opzoeken: de halveringstijd van ^{32}Si is 150 jaar
 - je kunt het beste ^{131}I gebruiken want dat is na een paar weken verdwenen

4***

a Geef de vervalreactie van Am-137.



b Leg uit of het aantal Am-241 kernen na 20 jaar veel is veranderd.

- opzoeken: de halveringstijd van Am-241 is 432 jaar
- na 20 jaar is er nog maar weinig Am-241 vervallen

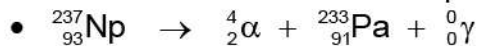
c Kan de uitgezonden α -straling normaal gesproken buiten het plastic doosje van de rookmelder komen?

- de dracht van α -deeltjes is erg klein
- α -deeltjes kunnen niet door het plastic heen

d Leg uit waarom rookmelders met radioactief americium gevaarlijk kan zijn voor bewoners en hulpdiensten als er brand uitbreekt.

- als het ^{241}Am met de huid in aanraking komt of in je lichaam komt word je radioactief besmet en sta je bloot aan α -straling
- α -straling heeft een groot ioniserend vermogen en is daarom schadelijk

e Geef de vervalreactie van Np-237.



f Leg uit waarom het ontstane Np-237 weinig straling uitzendt.

- de halveringstijd van Np-237 is $2,14 \cdot 10^6$ jaar
- het verval is heel langzaam en Np-237 zendt daarom weinig straling uit

Halveringsdikte

5**

a Hoe dik is het plaatje als 12,5% van de straling in de detector komt?

- 100% \rightarrow 50% \rightarrow 25% \rightarrow 12,5%
- 12,5% is aanwezig na 3 keer de halveringsdikte
- $3 \cdot 5 = 15 \text{ mm} \rightarrow$ het plaatje is 15 mm dik

OOK GOED

- $\frac{12,5}{100} = \frac{1}{8}$

- $\left(\frac{1}{2}\right)^3 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{8} \rightarrow$ 3 keer de halveringsdikte

- $3 \cdot 5 = 15 \text{ mm} \rightarrow$ het plaatje is 15 mm dik

b Hoe dik moet je het plaatje maken? Rond af op een heel aantal keer de halveringsdikte.

- 100% → 50% → 25% → 12,5% → 6,25% → 3,125% → 1,5625%
- 1,5625% is aanwezig na 6 keer de halveringsdikte
- 0,78125% is aanwezig na 7 keer de halveringsdikte
- het plaatje moet 7 keer de halveringsdikte hebben
- $7 \cdot 5 = 35$ mm → het plaatje moet 35 mm dik zijn

OOK GOED

- $\left(\frac{1}{2}\right)^6 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{64}$

- $\left(\frac{1}{2}\right)^7 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{128}$

- het plaatje moet 7 keer de halveringsdikte hebben
- $7 \cdot 5 = 35$ mm → het plaatje moet 35 mm dik zijn

6**

a Hoe dik is het plaatje?

- 100% → 50% → 25% → 12,5% → 6,25%
- 6,25% is aanwezig na 4 keer de halveringsdikte
- $4 \cdot 2 = 8$ cm → het plaatje is 8 cm dik

OOK GOED

- $\frac{100}{6,25} = 16$

- er is nog 1/16 deel aanwezig

- $\left(\frac{1}{2}\right)^4 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{16}$ → 4 keer de halveringsdikte

- $4 \cdot 2 = 8$ cm → het plaatje is 8 cm dik

b Hoe dik is dit plaatje?

- $100 - 87,5 = 12,5$
- 12,5% wordt doorgelaten
- 100% → 50% → 25% → 12,5%
- 12,5% is aanwezig na 3 keer de halveringsdikte
- $3 \cdot 2 = 6$ cm → het plaatje is 6 cm dik

OOK GOED

- $\frac{100}{12,5} = 8$

- er is nog 1/8 deel aanwezig

- $\left(\frac{1}{2}\right)^3 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$ → 3 keer de halveringsdikte

- $3 \cdot 2 = 6$ cm → het plaatje is 6 cm dik

c Hoe dik is dit plaatje?

- 100% → 50% → 25% → 12,5% → 6,25% → 3,125% → 1,5625% → 0,78125% → 0,39%
- 0,39% is aanwezig na 8 keer de halveringsdikte
- $8 \cdot 2 = 16$ cm → het plaatje is 16 cm dik

OOK GOED

- $\frac{100}{0,39} = 256$
- er is nog $1 / 256$ deel aanwezig
- $\left(\frac{1}{2}\right)^8 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{256}$ → 8 keer de halveringsdikte
- $8 \cdot 2 = 16$ cm → het plaatje is 16 cm dik

7***

a Bereken de dikte van het eerste plaatje.

- 100% → 50% → 25%
- 25% is aanwezig na 2 keer de halveringsdikte
- $2 \cdot 1,5 = 3$ cm → plaatje 1 is 3 cm dik

OOK GOED

- $\frac{100}{25} = 4$
- er is nog $1 / 4$ deel aanwezig
- $\left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ → 2 keer de halveringsdikte
- $2 \cdot 1,5 = 3$ cm → plaatje 1 is 3 cm dik

b Bereken de dikte van het tweede plaatje.

- 100% → 50% → 25% → 12,5% → 6,25% → 3,125%
- 3,125% is aanwezig na 5 keer de halveringsdikte
- $5 \cdot 1,5 = 7,5$ cm → de plaatjes 1 en 2 zijn samen 7,5 cm dik
- plaatje 1 is 3 cm dik → plaatje 2 is $7,5 - 3 = 4,5$ cm dik

OOK GOED

- $\frac{100}{3,125} = 32$
- er is nog $1 / 32$ deel aanwezig
- $\left(\frac{1}{2}\right)^5 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{32}$ → 5 keer de halveringsdikte
- $5 \cdot 1,5 = 7,5$ cm → de plaatjes 1 en 2 zijn samen 7,5 cm dik
- plaatje 1 is 3 cm dik → plaatje 2 is $7,5 - 3 = 4,5$ cm dik

8***

a Hoeveel procent van de straling komt er in de detector?

- dikte van plaatje A is 1 keer de halveringsdikte
- dikte van plaatje B is 2 keer de halveringsdikte

- de γ -stralen gaan door 3 keer de halveringsdikte

- $\left(\frac{1}{2}\right)^3 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$

- $\frac{100}{8} = 12,5$

- 12,5% van de straling komt in de detector

b Hoeveel procent van de straling komt er nu in de detector?

- dikte van plaatje A is 4 keer de halveringsdikte
- dikte van plaatje B is 3 keer de halveringsdikte
- de γ -stralen gaan door 7 keer de halveringsdikte
- 100% \rightarrow 50% \rightarrow 25% \rightarrow 12,5% \rightarrow 6,25% \rightarrow 3,125% \rightarrow 1,5625% \rightarrow 0,78125%
- 0,78% van de straling komt in de detector

OOK GOED

- de γ -stralen gaan door 7 keer de halveringsdikte

- $\left(\frac{1}{2}\right)^7 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{128}$

- $\frac{100}{128} = 0,78$

- 0,78% van de straling komt in de detector

9***

a Bereken hoeveel procent van de straling door het loodschort wordt tegengehouden.

- $\frac{0,053}{0,0106} = 5$

- de dikte van het loodschort is 5 keer de halveringsdikte
- 100% \rightarrow 50% \rightarrow 25% \rightarrow 12,5% \rightarrow 6,25% \rightarrow 3,125%
- 3,125% wordt doorgelaten
- $100 - 3,125 = 96,9\%$ wordt tegengehouden

OOK GOED


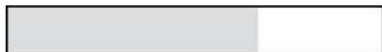

- $\left(\frac{1}{2}\right)^5 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{32}$

- $\frac{100}{32} = 3,125$

- 3,125% wordt doorgelaten
- $100 - 3,125 = 96,9\%$ wordt tegengehouden

9.4 Detectie van straling

- 1**
- a Leg uit waarom dit belangrijk is.
- de monteur moet in de gaten houden of de stralingsdosis die hij op jaarbasis oploopt onder het toegestane maximum blijft
- b Leg uit waarom dit niet nodig is.
- de monteur heeft geen GM-teller nodig als op de plaats waar hij moet werken geen straling aanwezig is, bijvoorbeeld in de controlekamer
- c Noem een voorbeeld van zo'n situatie.
- de monteur heeft wel een GM-teller nodig als op de plaats waar hij moet werken mogelijk straling aanwezig is, bijvoorbeeld dicht bij de reactor

- 2**
- a Teken de verkleuring van het stralingsgevoelige materiaal bij blootstelling aan uitsluitend β -straling. 
- b Teken de verkleuring van het stralingsgevoelige materiaal bij blootstelling aan uitsluitend röntgenstraling (X-straling). 
- c Teken de verkleuring van het stralingsgevoelige materiaal bij blootstelling aan β - en γ -straling. 

- 3***
- a Leg uit waarom het niet zinvol is om badges te maken die gevoelig zijn voor α -straling.
- de dracht van α -deeltjes in lucht is erg klein
 - α -straling is al geabsorbeerd voordat het de badge bereikt
- b Geef de vervalreactie van Cs-137.
- ${}_{55}^{137}\text{Cs} \rightarrow {}_{-1}^0\beta^{-} + {}_{56}^{137}\text{Ba} + {}_0^0\gamma$
- c Geef de vervalreactie van Sr-90.
- ${}_{38}^{90}\text{Sr} \rightarrow {}_{-1}^0\beta^{-} + {}_{39}^{90}\text{Y}$
- d Geef de vervalreactie van Po-209.
- ${}_{84}^{209}\text{Po} \rightarrow {}_2^4\alpha + {}_{82}^{205}\text{Pb}$
- e Leg uit welke van deze drie stoffen je het beste kunt gebruiken om de badges te testen.
- Cs-137 zendt behalve β^{-} -straling ook γ -straling uit
 - Po-209 zendt geen β -straling uit
 - Sr-90 is het beste omdat het alleen β^{-} -straling uitzendt

9.5 Absorptie van straling door materie

- 1****
- a** Leg uit waarom er lood in de pakken wordt verwerkt.
- lood absorbeert ioniserende straling erg goed
- b** Leg uit waarom ze een gasmasker dragen.
- stofdeeltjes kunnen α -stralers bevatten
 - bij het inademen van α -stralers worden de longen beschadigd
- c** Leg uit waarom een gasmasker voor hen niet nodig is.
- in het ziekenhuis zijn geen stofdeeltjes met α -stralers aanwezig
- 2****
- a** Leg uit of er bij deze methode alfastraling of bètastraling wordt gebruikt.
- α -straling heeft een klein doordringend vermogen en kan niet door de wand van de metalen capsule
- b** Geef de reactievergelijkingen voor het verval van Ra-226 en van Co-60.
- ${}_{88}^{226}\text{Ra} \rightarrow {}_2^4\alpha + {}_{86}^{222}\text{Rn} + {}_0^0\gamma$
 - ${}_{27}^{60}\text{Co} \rightarrow {}_{-1}^0\beta^- + {}_{28}^{60}\text{Ni} + {}_0^0\gamma$
- c** Noem twee belangrijke verschillen tussen het gebruik van Ra-226 en van Co-60.
- bij Ra-226 komt alleen γ -straling buiten de capsule, bij Co-60 is er ook β^- -straling
 - de halveringstijd van Ra-226 is 1600 jaar en van Co-60 is 5,27 jaar
- 3****
- a** Bereken het dosisequivalent dat de monteur na 1,0 uur werken ontvangt.
- $E_{\text{abs}} = 60 \cdot 60 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ J}$ per uur | $m = 90 \text{ kg}$ | $D = \dots \text{ Gy}$
 - $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m} \rightarrow D = \frac{3,6 \cdot 10^{-4}}{90} = 4,0 \cdot 10^{-6} \text{ Gy}$
 - $H = w_R \cdot D$ met $w_R = 20$ voor α -straling
 - $H = 20 \cdot 4,0 \cdot 10^{-6} = 8,0 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$
- b** Bereken het dosisequivalent dat de monteur in één jaar ontvangt.
- 5 uur per dag 150 dagen per jaar is 750 uur per jaar
 - per uur: $H = 8,0 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$
 - per jaar: $H = 750 \cdot 8,0 \cdot 10^{-5} = 6,0 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}$
- c** Voldoet de monteur aan deze wet?
- de monteur ontvangt per jaar $6,0 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}$
 - dit is 60 mSv per jaar \rightarrow de monteur voldoet niet aan de wet

4* a** Bereken de stralingsdosis die de spieren ontvangen.

- 2,5 minuten = 150 seconden
- $E_{\text{abs}} = 150 \cdot 2,5 \cdot 10^{-6} = 3,75 \cdot 10^{-4} \text{ J}$
- bestraalde massa is 12,5 kg
- $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m} \rightarrow D = \frac{3,75 \cdot 10^{-4}}{12,5} = 3,0 \cdot 10^{-5} \text{ Gy}$

5* a** Bereken de stralingsenergie die de medewerker per jaar maximaal mag ontvangen.

- $D = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ J/kg} \mid m = 54 \text{ kg} \mid E_{\text{abs}} = \dots \text{ J}$
- $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m}$
- $5,0 \cdot 10^{-3} = \frac{E_{\text{abs}}}{54} \rightarrow E_{\text{abs}} = 54 \cdot 5,0 \cdot 10^{-3} = 0,27 \text{ J}$

b Hoeveel uur mag de medewerker per jaar een bestraling uitvoeren?

- per seconde: $E_{\text{abs}} = 3,0 \cdot 10^{-7} \text{ J}$
- totaal: $E_{\text{abs}} = 0,27 \text{ J}$
- aantal seconden: $t = \frac{0,27}{3,0 \cdot 10^{-7}} = 9,0 \cdot 10^5 \text{ s}$
- aantal uur: $t = \frac{9,0 \cdot 10^5}{60 \cdot 60} = 250 \text{ uur}$

6* a** Bereken de stralingsdosis die de man ontvangt.

- $E_{\text{per seconde}} = 5,0 \cdot 10^{-9} \text{ J} \mid t = 15 \text{ min} = 60 \cdot 15 = 900 \text{ s} \mid D = \dots \text{ Gy}$
- $E_{\text{abs}} = E_{\text{per seconde}} \cdot t \rightarrow E_{\text{abs}} = 5,0 \cdot 10^{-9} \cdot 900 = 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ J}$
- $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m} \rightarrow D = \frac{4,5 \cdot 10^{-6}}{60} = 7,5 \cdot 10^{-8} \text{ Gy}$

b Bereken de stralingsdosis die de man nu in een uur ontvangt.

- 25% van de straling wordt doorgelaten is $\frac{1}{4}$ deel
- een uur heeft 4 kwartier \rightarrow 4 keer zo veel tijd
- de dosis blijft gelijk $\rightarrow D = 7,5 \cdot 10^{-8} \text{ Gy}$

7* a** Bereken het dosisequivalent dat ze in een jaar ontvangt.

- $t = 20 \text{ uur per week} \mid H = 7,0 \cdot 10^{-6} \text{ Sv per uur} \mid H = \dots \text{ Sv per jaar}$
- $D = 20 \cdot 7,0 \cdot 10^{-6} = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ Sv per week}$
- 45 werkweken in een jaar
- $D = 45 \cdot 1,4 \cdot 10^{-4} = 6,3 \cdot 10^{-3} \text{ Sv per jaar}$

b Bereken hoeveel uur een piloot per werkweek gemiddeld moet vliegen om de stralingsnorm te overschrijden.

- $H = 20 \cdot 10^{-3}$ Sv per jaar
- 45 weken in een jaar
- $H = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{45} = 4,44444 \cdot 10^{-4}$ Sv per week
- $H = 7,0 \cdot 10^{-6}$ Sv per uur
- aantal uur: $t = \frac{4,44444 \cdot 10^{-4}}{7,0 \cdot 10^{-6}} = 63,5$ uur per week

8***

a Bereken de dosis die de kindervoet ontvangt na 20 seconden bestralen.

- per seconde wordt $1,5 \text{ mJ} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ J}$ geabsorbeerd
- $E_{\text{per seconde}} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ J} \mid t = 20 \text{ s} \mid m = 0,2 \text{ kg} \mid D = \dots \text{ Gy}$
- $E_{\text{abs}} = E_{\text{per seconde}} \cdot t \rightarrow E_{\text{abs}} = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 0,03 \text{ J}$
- $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m}$
- $D = \frac{0,03}{0,2} = 0,15 \text{ Gy}$

b Bereken de dosis die de hand van de verkoper ontvangt na 20 seconden bestralen.

- $E_{\text{abs}} = 0,18 \text{ J per minuut} = \frac{0,18}{60} = 0,003 \text{ J per seconde}$
- $E_{\text{per seconde}} = 0,003 \text{ J} \mid t = 20 \text{ s} \mid E_{\text{abs}} = \dots \text{ J}$
- $E_{\text{abs}} = E_{\text{per seconde}} \cdot t \rightarrow E_{\text{abs}} = 0,003 \cdot 20 = 0,06 \text{ J}$
- $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m} \rightarrow D = \frac{0,06}{0,3} = 0,20 \text{ Gy}$

c Bereken het dosisequivalent die de hand van de verkoper in een jaar ontvangt.

- 30 seconden per dag 280 dagen per jaar = 8400 seconden per jaar
- $E_{\text{abs}} = 0,003 \text{ J/s}$
- $E_{\text{abs}} = 8400 \cdot 0,003 = 25,2 \text{ J per jaar}$
- $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m} \rightarrow D = \frac{25,2}{0,3} = 84 \text{ Gy}$
- $H = w_R \cdot D \rightarrow H = 0,9 \cdot 84 = 75,6 \text{ Sv}$

9***

a Bereken de stralingsdosis die de huid ontvangt.

- $E_{\text{per seconde}} = 60 \cdot 10^{-9} \text{ J} \mid t = 3 \cdot 60 = 180 \text{ s} \mid m = 0,018 \text{ kg} \mid D = \dots \text{ Gy}$
- $E_{\text{abs}} = 0,15 \cdot E_{\text{uitgestraald}} \rightarrow E_{\text{abs}} = 0,15 \cdot 60 \cdot 10^{-9} \cdot 180 = 1,62 \cdot 10^{-6} \text{ J}$

- $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m}$
- $D = \frac{1,62 \cdot 10^{-6}}{0,018} = 9,0 \cdot 10^{-5} \text{ Gy}$

b Bereken het ontvangen dosisequivalent.

- $D = 9,0 \cdot 10^{-5} \text{ Gy} \quad | \quad w_R = 20 \quad | \quad H = \dots \text{ Sv}$
- $H = w_R \cdot D$
- $H = 20 \cdot 9,0 \cdot 10^{-5} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ Sv}$

c Ga na of het ontvangen dosisequivalent is toegestaan volgens de Nederlandse wet.

- maximaal toelaatbare dosisequivalent is $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Sv}$ per jaar
- het ontvangen dosisequivalent is meer dan de jaardosis en is dus niet toegestaan

10**

a Word je radioactief besmet als je uit uraniumglas drinkt?

- het uranium kan niet uit het glas ontsnappen
- je wordt niet radioactief besmet

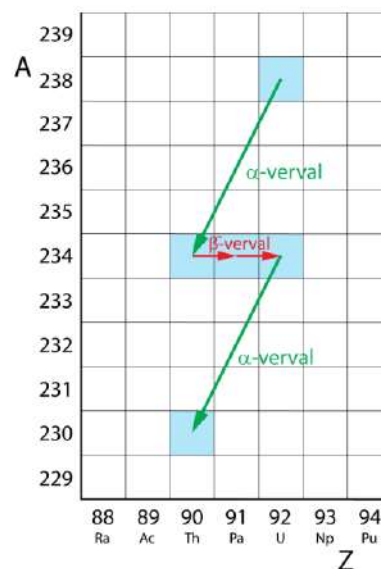
b Word je radioactief bestraald als je uit uraniumglas drinkt?

- de radioactieve straling kan wel uit het glas ontsnappen
- je wordt wel radioactief bestraald

9.6 Kernreacties

Vervalketen

- 1***
- a** Bij hoeveel van deze stappen wordt er een α -deeltje uitgezonden?
- massagetal gaat van 238 naar 230
 - verschil is 8 en dit is 2 keer 4
 - er worden twee α -deeltjes uitgezonden
- b** Bij hoeveel van deze stappen wordt er een β^- -deeltje uitgezonden?
- het atoomnummer gaat van 92 naar 90
 - verschil is 2
 - door de twee α -deeltjes is het atoomnummer met 4 afgenomen
 - het atoomnummer moet in de overige reacties met twee toenemen
 - er worden twee β^- -deeltjes uitgezonden
- c** Bij hoeveel van deze stappen wordt er een β^+ -deeltje uitgezonden?
- het atoomnummer gaat van 92 naar 90
 - door de twee α -deeltjes is het atoomnummer met 4 afgenomen
 - het atoomnummer moet in de overige reacties met twee toenemen
 - bij uitzending van een β^+ -deeltje neemt het atoomnummer af
 - er worden geen β^+ -deeltjes uitgezonden
- d** Geef de reactievergelijkingen van deze vier reacties.
- ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_2^4\alpha + {}_{90}^{234}\text{Th}$
 - ${}_{90}^{234}\text{Th} \rightarrow {}_{-1}^0\beta^- + {}_{91}^{234}\text{Pa}$
 - ${}_{91}^{234}\text{Pa} \rightarrow {}_{-1}^0\beta^- + {}_{92}^{234}\text{U}$
 - ${}_{92}^{234}\text{U} \rightarrow {}_2^4\alpha + {}_{90}^{230}\text{Th}$
- e** Geef in het (A, Z)-diagram de isotopen aan die betrokken zijn bij deze vervalketen en teken de reactiepijlen.



- 2***
- a** Leg uit of de verandering van het massagetal wordt veroorzaakt door het uitzenden van α -deeltjes of door het uitzenden van β^- -deeltjes.
- het massagetal kan alleen veranderen door het uitzenden van α -deeltjes
- b** Beredeneer bij hoeveel stappen in de vervalreeks er een α -deeltje wordt uitgezonden.
- massa gaat van 238 naar 206 en neemt dus af met 32

- bij het uitzenden van een α -deeltje neemt het massagetal met 4 af
- $\frac{32}{4} = 8 \rightarrow$ er wordt 8 keer een α -deeltje uitgezonden

c Bereken bij hoeveel stappen in de vervalreeks er een β^- -deeltje wordt uitgezonden.

- uranium heeft atoomnummer 92 en lood heeft atoomnummer 82
- het atoomnummer neemt met 10 af
- door het uitzenden van 8 α -deeltjes neemt atoomnummer met $8 \cdot 2 = 16$ af
- door het uitzenden van β^- -deeltjes moet het atoomnummer met 6 toenemen
- bij het uitzenden van een β^- -deeltje neemt het atoomnummer met 1 toe
- er moet 6 keer een β^- -deeltje worden uitgezonden om het atoomnummer met 6 te laten toenemen

3***

a Bereken bij hoeveel stappen in de vervalreeks een α -deeltje wordt uitgezonden.

- massa gaat van 212 naar 208
- verschil is 4
- er wordt 1 keer een α -deeltje uitgezonden

b Bereken bij hoeveel stappen in de vervalreeks een β^- -deeltje wordt uitgezonden.

- bismut heeft atoomnummer 83 | lood heeft atoomnummer 82
- het atoomnummer neemt met 1 af
- door het uitzenden van één α -deeltjes neemt atoomnummer met 2 af
- bij het uitzenden van een β^- -deeltje neemt het atoomnummer met 1 toe
- er moet 1 β^- -deeltje worden uitgezonden

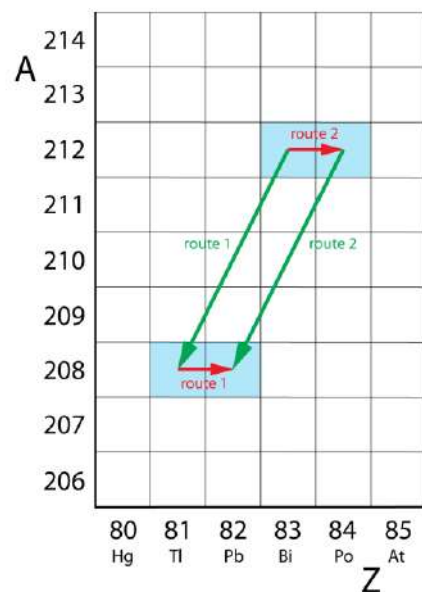
c Geef de vervalketen waarbij eerst een α -deeltje wordt uitgezonden.

- stap 1: ${}_{83}^{212}\text{Bi} \rightarrow {}_2^4\alpha + {}_{81}^{208}\text{Tl}$
- stap 2: ${}_{81}^{208}\text{Tl} \rightarrow {}_{-1}^0\beta^- + {}_{82}^{208}\text{Pb}$

d Geef de vervalketen waarbij eerst een β^- -deeltje wordt uitgezonden.

- stap 1: ${}_{83}^{212}\text{Bi} \rightarrow {}_{-1}^0\beta^- + {}_{84}^{212}\text{Po}$
- stap 2: ${}_{84}^{212}\text{Po} \rightarrow {}_2^4\alpha + {}_{82}^{208}\text{Pb}$

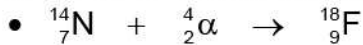
e Geef in het (A, Z)-diagram de isotopen aan die betrokken zijn bij deze vervalketens en teken de pijlen voor beide vervalketens.



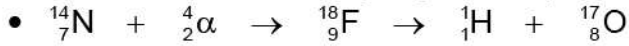
Gestimuleerde reacties

4**

a Maak de reactievergelijking van stap 1 compleet.

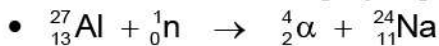


b Maak de reactievergelijking van stap 1 + stap 2 compleet.

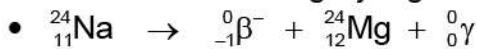


5**

a Maak de reactievergelijking compleet.



b Geef de reactievergelijking van deze spontane reactie.

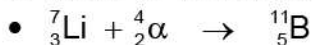


c Controleer of het reactieproduct (de dochterkern) een stabiel isotoop is.

- er ontstaat ${}^{24}_{12}\text{Mg}$ en dit is een stabiel isotoop (oneindig lange halveringstijd)

6**

a Maak de reactievergelijking compleet.

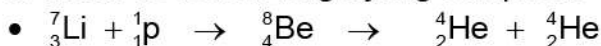


b Controleer of het reactieproduct een stabiel isotoop is.

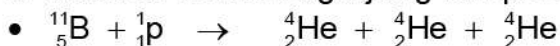
- er ontstaat ${}^{11}_5\text{B}$ en dit is een stabiel isotoop

7***

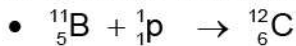
a Maak de reactievergelijking compleet.



b Maak de reactievergelijking compleet.



c Maak de reactievergelijking compleet.



9.7 Massa en energie

GEEN OPGAVEN