

# 9 Kernfysica

3 vwo

## 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.
- $\alpha$ -straling,  $\beta$ -straling en  $\gamma$ -straling
- b Welke soort straling bestaat uit de zwaarste deeltjes?
- $\alpha$ -straling heeft massagetal 4 en heeft de zwaarste deeltjes
- c Welke soort straling bestaat uit lichtdeeltjes (fotonen)?
- $\gamma$ -straling
- d Wat is het verschil tussen  $\beta^-$ -straling en  $\beta^+$ -straling?
- $\beta^-$ -straling bestaat uit elektronen
  - $\beta^+$ -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  $\alpha$ -straling

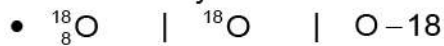
**7\*\***

- 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  $\beta^-$  straling uitzendt.
- ${}^{69}_{30}\text{Zn}$  zendt  $\beta^-$  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  $\beta^+$  straling uit en Zn-69 zendt  $\beta^-$  straling uit
  - door te meten of de uitgezonde 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  $\gamma$  straling uitzenden.
- ${}^{65}_{30}\text{Zn}$  zendt  $\gamma$ -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.

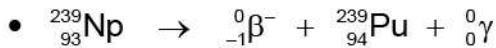
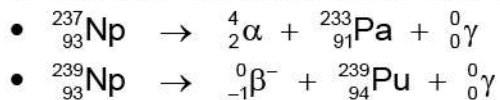


9\*\*

a Zoek van ieder isotoop op welke straling hij uitzendt.

- ${}^{237}_{93}\text{Np}$  zendt  $\alpha$ -straling en  $\gamma$ -straling uit
- ${}^{239}_{93}\text{Np}$  zendt  $\beta^-$ -straling en  $\gamma$ -straling uit

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

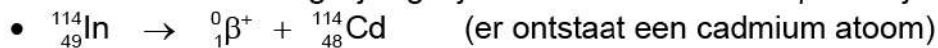


10\*\*

a Geef de vervalvergelijking bij het uitzenden van een  $\beta^-$  deeltje.

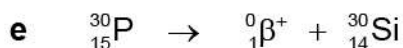
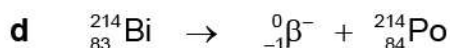
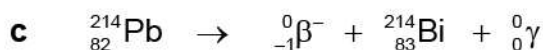
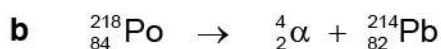
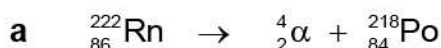


b Geef de vervalvergelijking bij het uitzenden van een  $\beta^+$  deeltje.



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  $^{33}\text{P}$  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  $^{131}\text{I}$  vervallen?

- 7 gram is vervallen  $\rightarrow$  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  $^{131}\text{I}$  vervallen?

- 93,75% vervallen  $\rightarrow$  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  $\rightarrow t = 4 \cdot 8 = 32$  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  $\rightarrow t = 4 \cdot 8 = 32$  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
- $\left(\frac{1}{2}\right)^6 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{64}$
- $\frac{1}{64}$  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  $\beta^-$ -straling en  $\gamma$ -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%
- OOK 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% → 50% → 25% → 12,5% → 6,25% → 3,125%
- 3,125% is aanwezig na 5 keer de halveringstijd
- $5 \cdot 23 = 115$  → na 115 uur is 3,125% aanwezig

OOK GOED

- $\frac{100}{3,125} = 32$
- er is nog  $\frac{1}{32}$  deel aanwezig
- $\left(\frac{1}{2}\right)^5 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{32}$
- na 5 keer de halveringstijd is er  $\frac{1}{32}$  deel over
- $5 \cdot 23 = 115$  → na 115 uur is 3,125% aanwezig

**c** Hoeveel gram is er in deze tijd vervallen?

- 3,125% aanwezig →  $100 - 3,125 = 96,875\%$  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

12\*

**a** Leg met eigen woorden uit wat met de activiteit is.

- de activiteit is het aantal kernen dat in één seconde vervalt

**b** Wat is het symbool van de grootte activiteit?

- hoofdletter A

**c** Wat is de eenheid van activiteit en wat is het symbool hiervan?

- de becquerel (Bq)

**d** Hoeveel procent van de activiteit is er nog aanwezig na 1 dag.

- na 1 dag is nog  $\frac{1}{2}$  aanwezig = 50%

**e** Hoeveel procent van de activiteit is er nog aanwezig na 2 dagen.

- na 2 dagen is nog  $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$  aanwezig = 25%

**f** Hoeveel procent van de activiteit stof is er nog aanwezig na 3 dagen.

- na 3 dagen is nog  $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$  aanwezig = 12,5%

- 13\***
- a** Wordt de activiteit van het  $^{239}\text{Pu}$  in een mensenleven merkbaar kleiner?
- opzoeken:  $t_{1/2} = 2,4 \cdot 10^4$  jaar
  - in een mensenleven (100 jaar) is de activiteit nauwelijks kleiner geworden
- b** Hoelang zal het nog duren voordat de helft van het  $^{239}\text{Pu}$  is verdwenen?
- de helft van het  $^{239}\text{Pu}$  is verdwenen na 1 keer de halveringstijd
  - dit duurt nog  $2,4 \cdot 10^4$  jaar

- 14\*\***
- a** Hoe groot is de activiteit van dit brokje stof?
- 1920 deeltjes per minuut is  $\frac{1920}{60} = 32$  deeltjes per seconde
  - $A = 32 \text{ Bq}$
- b** Hoe groot is de halveringstijd van deze stof?
- $\frac{1920}{120} = 16$
  - er is nog 1/16 deel aanwezig
  - $\left(\frac{1}{2}\right)^4 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{16} \rightarrow 4$  keer de halveringstijd
  - $4 \cdot t_{1/2} = 8 \rightarrow t_{1/2} = 2,0$  uur

- 15\*\***
- a** Bereken de halveringstijd.
- $\frac{100}{12,5} = 8$
  - er is nog 1/8 deel aanwezig
  - $\frac{1}{8} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \rightarrow 3$  keer de halveringstijd
  - $3 \cdot t_{1/2} = 258 \rightarrow t_{1/2} = \frac{258}{3} = 86$  dagen

- 16\*\***
- a** Leg uit of de halveringstijd van 2 gram  $^{131}\text{I}$  groter, kleiner of gelijk is aan die van 1 gram  $^{131}\text{I}$ .
- de halveringstijd is niet afhankelijk van de hoeveelheid stof
  - de halveringstijden zijn gelijk aan elkaar
- b** Leg uit of de activiteit van 2 gram  $^{131}\text{I}$  groter, kleiner of gelijk is aan de activiteit van 1,0 gram  $^{131}\text{I}$ .
- de activiteit is recht evenredig met het aantal aanwezige kernen
  - de activiteit van 2 gram jood-131 is groter dan de activiteit van 1 gram jood-131

17\*\*\* a Hoelang geleden leefde deze Neanderthaler?

- $\frac{100}{512} = 0,1953$
- $100\% \rightarrow 50\% \rightarrow 25\% \rightarrow 12,5\% \rightarrow 6,25\% \rightarrow 3,125\% \rightarrow 1,5625\% \rightarrow 0,78125\% \rightarrow 0,390625\% \rightarrow 0,1953125\%$
- $0,1953125\%$  is aanwezig na 9 keer de halveringstijd
- opzoeken  ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow t_{1/2} = 5730$  jaar
- $t = 9 \cdot 5730 = 5,157 \cdot 10^4$  jaar

OOK GOED

- $\left(\frac{1}{2}\right)^9 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{512} \rightarrow 9$  keer de halveringstijd
- $t = 9 \cdot 5730 = 5,157 \cdot 10^4$  jaar

18\*\*\* a Hoeveel gram van deze stof is er in 6 uur vervallen?

- een kwart van de oorspronkelijke hoeveelheid  $\rightarrow \frac{40}{4} = 10$  gram
- in 6 uur is  $40 - 10 = 30$  gram van de stof vervallen

b Bereken de halveringstijd van deze isotoop.

- een kwart van de oorspronkelijke hoeveelheid  $\rightarrow \frac{1}{4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \rightarrow 2$  keer de halveringstijd
- $2 \cdot t_{1/2} = 6 \rightarrow t_{1/2} = \frac{6}{2} = 3$  uur

c Bereken de hoeveel van deze stof aanwezig is na 6 uur.

- na 6 uur is er nog een kwart aanwezig  $\rightarrow \frac{120}{4} = 30$  gram

d Bereken hoeveel van deze stof aanwezig is na 24 uur.

- $\frac{24}{3} = 8 \rightarrow 8$  keer de halveringstijd
- $\left(\frac{1}{2}\right)^8 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{256}$
- $N = \frac{120}{256} = 0,46875 = 0,47$  gram **gebruik gram in plaats van aantal kernen**

e Bereken hoeveel van deze stof is vervallen na 12 uur.

- $\frac{12}{3} = 4 \rightarrow 4$  keer de halveringstijd
- $\left(\frac{1}{2}\right)^4 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{16}$

- $N = \frac{120}{16} = 7,5$  gram gebruik gram in plaats van aantal kernen
- na 12 uur is er  $120 - 7,5 = 112,5$  gram vervallen

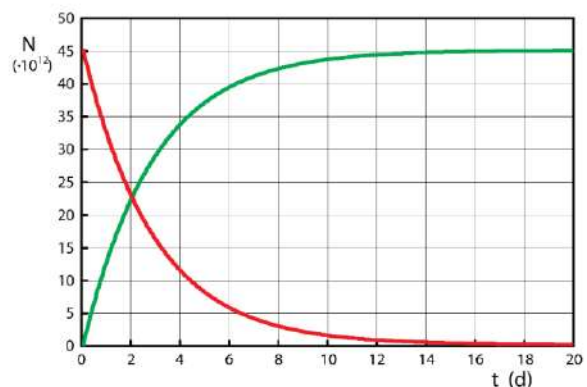
19\*\*\*

- a** Zoek de halveringstijden van broom-82 en nikkel-65 op.
- $^{82}_{35}\text{Br}$  heeft een halveringstijd van 35,3 uur
  - $^{65}_{28}\text{Ni}$  heeft een halveringstijd van 2,5 uur
- b** Leg uit welk isotoop de grootste stabiliteit heeft.
- $^{82}_{35}\text{Br}$  heeft de grootste halveringstijd
  - $^{82}_{35}\text{Br}$  heeft de grootste stabiliteit
- c** Leg uit welk isotoop de grootste activiteit heeft op  $t = 0$ .
- op  $t = 0$  hebben beide stoffen hetzelfde aantal kernen
  - het isotoop met de kleinste  $t_{1/2}$  heeft de grootste activiteit
  - $^{65}_{28}\text{Ni}$  heeft op  $t = 0$  de grootste activiteit
- d** Verklaar waarom de activiteit van beide stoffen afneemt in de tijd.
- $t_{1/2}$  verandert niet → omdat het aantal instabiele kernen afneemt neemt ook de activiteit af
- e** Leg uit bij welk isotoop de afname het snelst verloopt.
- voor het isotoop met de kleinste  $t_{1/2}$  verloopt de afname het snelst
  - voor  $^{65}_{28}\text{Ni}$  verloopt de afname het snelst want  $^{65}_{28}\text{Ni}$  heeft de kleinste halveringstijd

20\*\*\*\*

- a** Schets het  $(N, t)$ -diagram van dit verval.
- $N = N_0 - N_{\text{vervallen}}$
  - geeft rode grafiek

- b** Bepaal de halveringstijd.
- aflezen:  $N_0 = 45 \cdot 10^{12}$
  - $\frac{1}{2} \cdot N_0 = 22,5 \cdot 10^{12}$
  - aflezen:  $t_{1/2} = 2,0$  dagen



- c** Leg uit of de activiteit toeneemt, afneemt of gelijk blijft
- tijdens het verval neemt het aantal aanwezige radioactieve kernen af
  - $N$  neemt af en  $t_{1/2}$  blijft gelijk →  $A$  neemt af
- d** Bepaal de gemiddelde activiteit tussen  $t = 0$  en  $t = 2,0$  d.
- aflezen: aantal vervallen kernen op  $t = 2,0$  d is  $22 \cdot 10^{12}$  kernen
  - $\Delta N = -22 \cdot 10^{12}$  |  $\Delta t = 2 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 1,728 \cdot 10^5$  s |  $A_{\text{gem}} = \dots$  Bq

- $A_{\text{gem}} = -\frac{\Delta N}{\Delta t} \rightarrow A = \frac{22 \cdot 10^{12}}{1,728 \cdot 10^5} = 1,273 \cdot 10^8 = 1,3 \cdot 10^8 = \text{Bq}$

e Bepaal de gemiddelde activiteit tussen  $t = 0$  en  $t = 20$  d.

- aflezen: aantal vervallen kernen op  $t = 20$  d is  $45 \cdot 10^{12}$  kernen

- $\Delta N = -45 \cdot 10^{12} \quad | \quad \Delta t = 1,728 \cdot 10^6 \text{ s} \quad | \quad A_{\text{gem}} = \dots \text{ Bq}$

- $A_{\text{gem}} = -\frac{\Delta N}{\Delta t} \rightarrow A = \frac{45 \cdot 10^{12}}{1,728 \cdot 10^6} = 2,604 \cdot 10^7 = 2,6 \cdot 10^7 \text{ Bq}$

21\*\*\*

a Wie van hen heeft gelijk? Isabel, Leonardo of geen van beiden?

- de activiteit is afhankelijk van de halveringstijd én van het aantal aanwezige kernen
- geen van beiden heeft gelijk, want je weet niet hoeveel kernen er van iedere stof zijn

b Heeft Jasmijn gelijk?

- nee, want je weet nog steeds niet hoeveel kernen er zijn in stof A en in stof B
- wat je ook moet weten zijn de massa's van de atomen van de stoffen A en B

22\*\*\*\*

a Bereken de activiteit van 1,0 gram  $^{131}\text{I}$ .

- in 1,0 g zitten  $4,60 \cdot 10^{21}$  atomen

- $A = \frac{0,693}{t_{1/2}} \cdot N$

- opzoeken:  $t_{1/2} = 8,0$  dagen  $= 8 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 6,912 \cdot 10^5 \text{ s}$  **tijd moet in seconde**

- $A = \frac{0,693}{6,912 \cdot 10^5} \cdot 4,60 \cdot 10^{21} = 4,6133 \cdot 10^{15} = 4,6 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$

b Bereken de activiteit van 5,0 gram  $^{131}\text{I}$ .

- 1 gram:  $A = 4,6133 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$

- 5 gram  $\rightarrow$  activiteit wordt 5 keer groter

- 5 gram:  $A = 5 \cdot 4,6133 \cdot 10^{15} = 2,30665 \cdot 10^{16} = 2,3 \cdot 10^{16} \text{ Bq}$

c Bereken na hoeveel tijd er nog 1/64 deel van de activiteit over is.

- $\frac{1}{64} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \rightarrow$  6 keer de halveringstijd

- $t_{1/2} = 8,0$  dagen  $\rightarrow t = 6 \cdot 8 = 48$  dagen

d Bereken na hoeveel tijd 87,5% van het jood-131 is vervallen.

- 87,5% vervallen  $\rightarrow$  12,5% is nog aanwezig

- $\frac{12,5}{100} = \frac{1}{8} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \rightarrow$  3 keer de halveringstijd

- $t = 3 \cdot 8 = 24$  dagen

23\*\*\*\*

a Bepaal de activiteit op  $t = 5,0$  d.

- aflezen: aantal vervallen kernen is  $37 \cdot 10^{12}$
- $N = N_0 - N_{\text{vervallen}} \rightarrow N = 45 \cdot 10^{12} - 37 \cdot 10^{12} = 8,0 \cdot 10^{12}$  kernen zijn aanwezig
- $t_{1/2} = 2,0$  d =  $1,728 \cdot 10^5$  s      tijd moet in seconde
- $A = \frac{0,693}{t_{1/2}} \cdot N \rightarrow A = \frac{0,693}{1,728 \cdot 10^5} \cdot 8,0 \cdot 10^{12} = 3,2 \cdot 10^7$  Bq

---

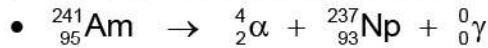
## 9.3 Ioniserende straling

- 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.
- $\alpha$ -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  $\alpha$ - en  $\beta$ -deeltjes veel atomen tegenkomen of worden ze per botsing veel afgeremd
  - als  $\alpha$ - en  $\beta$ -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  $\alpha$ -straler een  $\beta$ -straler of een  $\gamma$ -straler kunt gebruiken.
- $\alpha$ -straling kan je niet gebruiken want dat komt niet door de wand van de pijp
  - $\gamma$ -straling komt wel door de wand maar bereikt ook mensen op grote afstand
  - $\beta$ -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  $^{131}\text{I}$  (jood-131) en  $^{32}\text{Si}$  (silicium-32) welke van deze kun je dan het beste gebruiken?
- opzoeken: de halveringstijd van  $^{131}\text{I}$  is 8 dagen
  - opzoeken: de halveringstijd van  $^{32}\text{Si}$  is 150 jaar
  - je kunt het beste  $^{131}\text{I}$  gebruiken want dat is na een paar weken verdwenen

**4\*\*\***

**a** Geef de vervalreactie van Am-137.



**b** Leg uit of de activiteit van americium-241 na 20 jaar veel of weinig is veranderd.

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

**c** Leg uit of de ontstane stof dan meer of minder activiteit heeft dan het aanwezige Am-241.

- bij het verval van Am-241 ontstaat Np-237 (neptunium-237)
- opzoeken: de halveringstijd van Np-237 is  $2,14 \cdot 10^6$  jaar
- $A = \frac{0,693}{t_{1/2}} \cdot N$
- het aantal kernen N is gelijk
- Np-237 heeft een veel langere halveringstijd
- de activiteit van Np-237 is veel kleiner dan van Am-241

**d** Kan de uitgezonden  $\alpha$ -straling normaal gesproken buiten het plastic doosje van de rookmelder komen?

- de dracht van  $\alpha$ -deeltjes is erg klein
- $\alpha$ -deeltjes kunnen niet door het plastic heen

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

- als het  $^{241}\text{Am}$  met de huid in aanraking komt sta je bloot aan  $\alpha$ -straling
- $\alpha$ -straling heeft een groot ioniserend vermogen en is daarom schadelijk

## 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
- $3 \cdot 5 = 15$  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
- $3 \cdot 5 = 15$  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
- $8 \cdot 2 = 16 \text{ cm}$  → 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
- $8 \cdot 2 = 16 \text{ cm}$  → 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
- $2 \cdot 1,5 = 3 \text{ cm}$  → 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
- $2 \cdot 1,5 = 3 \text{ cm}$  → 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
- $5 \cdot 1,5 = 7,5 \text{ cm}$  → de plaatjes 1 en 2 zijn samen 7,5 cm dik
- plaatje 1 is 3 cm dik → plaatje 2 is  $7,5 - 3 = 4,5 \text{ cm}$  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
- $5 \cdot 1,5 = 7,5 \text{ cm}$  → de plaatjes 1 en 2 zijn samen 7,5 cm dik
- plaatje 1 is 3 cm dik → plaatje 2 is  $7,5 - 3 = 4,5 \text{ cm}$  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  $\gamma$ -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  $\gamma$ -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  $\gamma$ -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


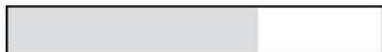

- $\left(\frac{1}{2}\right)^5 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{32}$

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

- 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  $\beta$ -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  $\beta$ - en  $\gamma$ -straling. 

- 3\*\*\*
- a Leg uit waarom het niet zinvol is om badges te maken die gevoelig zijn voor  $\alpha$ -straling.
- de dracht van  $\alpha$ -deeltjes in lucht is erg klein
  - $\alpha$ -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  $\beta^{-}$ -straling ook  $\gamma$ -straling uit
  - Po-209 zendt geen  $\beta$ -straling uit
  - Sr-90 is het beste omdat het alleen  $\beta^{-}$ -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  $\alpha$ -stralers bevatten
  - bij het inademen van  $\alpha$ -stralers worden de longen beschadigd
- c** Leg uit waarom een gasmasker voor hen niet nodig is.
- in het ziekenhuis zijn geen stofdeeltjes met  $\alpha$ -stralers aanwezig
- 2\*\***
- a** Leg uit of er bij deze methode alfastraling of bètastraling wordt gebruikt.
- $\alpha$ -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  $\gamma$ -straling buiten de capsule, bij Co-60 is er ook  $\beta^-$ -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.
- $E_{\text{abs}} = 60 \cdot 60 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ J per uur} \quad | \quad m = 90 \text{ kg} \quad | \quad D = \dots \text{ Gy}$
  - $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m} \rightarrow D = \frac{3,6 \cdot 10^{-4}}{90} = 4,0 \cdot 10^{-6} \text{ Gy}$
  - $H = w_R \cdot D$  met  $w_R = 20$  voor  $\alpha$ -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

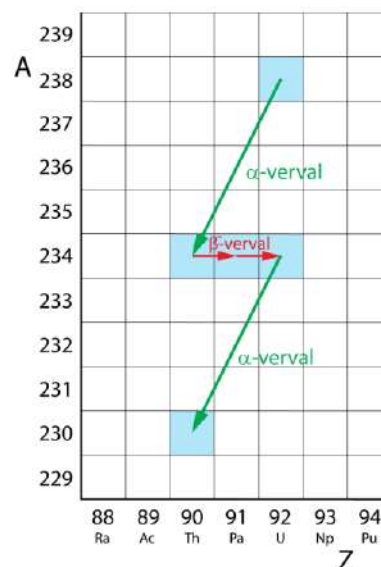
## Vervalketen

- 1\*\*\*
- a** Bij hoeveel van deze stappen wordt er een  $\alpha$ -deeltje uitgezonden?
- massagetal gaat van 238 naar 230
  - verschil is 8 en dit is 2 keer 4
  - er worden twee  $\alpha$ -deeltjes uitgezonden
- b** Bij hoeveel van deze stappen wordt er een  $\beta^-$ -deeltje uitgezonden?
- het atoomnummer gaat van 92 naar 90
  - verschil is 2
  - door de twee  $\alpha$ -deeltjes is het atoomnummer met 4 afgenomen
  - het atoomnummer moet in de overige reacties met twee toenemen
  - er worden twee  $\beta^-$ -deeltjes uitgezonden
- c** Bij hoeveel van deze stappen wordt er een  $\beta^+$ -deeltje uitgezonden?
- het atoomnummer gaat van 92 naar 90
  - door de twee  $\alpha$ -deeltjes is het atoomnummer met 4 afgenomen
  - het atoomnummer moet in de overige reacties met twee toenemen
  - bij uitzending van een  $\beta^+$ -deeltje neemt het atoomnummer af
  - er worden geen  $\beta^+$ -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  $\alpha$ -deeltjes of door het uitzenden van  $\beta^-$ -deeltjes.
- het massagetal kan alleen veranderen door het uitzenden van  $\alpha$ -deeltjes
- b** Beredeneer bij hoeveel stappen in de vervalreeks er een  $\alpha$ -deeltje wordt uitgezonden.
- massa gaat van 238 naar 206 en neemt dus af met 32

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

- c** Bereken bij hoeveel stappen in de vervalreeks er een  $\beta^-$ -deeltje wordt uitgezonden.
- uranium heeft atoomnummer 92 en lood heeft atoomnummer 82
  - het atoomnummer neemt met 10 af
  - door het uitzenden van 8  $\alpha$ -deeltjes neemt atoomnummer met  $8 \cdot 2 = 16$  af
  - door het uitzenden van  $\beta^-$ -deeltjes moet het atoomnummer met 6 toenemen
  - bij het uitzenden van een  $\beta^-$ -deeltje neemt het atoomnummer met 1 toe
  - er moet 6 keer een  $\beta^-$ -deeltje worden uitgezonden om het atoomnummer met 6 te laten toenemen

3\*\*\*

- a** Bereken bij hoeveel stappen in de vervalreeks een  $\alpha$ -deeltje wordt uitgezonden.
- massa gaat van 212 naar 208
  - verschil is 4
  - er wordt 1 keer een  $\alpha$ -deeltje uitgezonden

- b** Bereken bij hoeveel stappen in de vervalreeks een  $\beta^-$ -deeltje wordt uitgezonden.
- bismut heeft atoomnummer 83 | lood heeft atoomnummer 82
  - het atoomnummer neemt met 1 af
  - door het uitzenden van één  $\alpha$ -deeltjes neemt atoomnummer met 2 af
  - bij het uitzenden van een  $\beta^-$ -deeltje neemt het atoomnummer met 1 toe
  - er moet 1  $\beta^-$ -deeltje worden uitgezonden

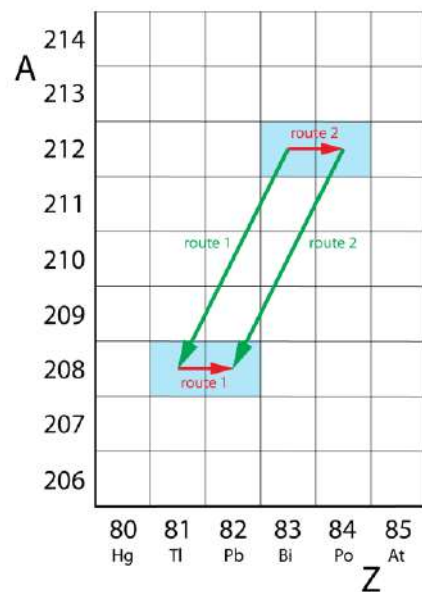
- c** Geef de vervalketen waarbij eerst een  $\alpha$ -deeltje wordt uitgezonden.

- 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  $\beta^-$ -deeltje wordt uitgezonden.

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

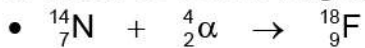
- e** Geef in het (A, Z)-diagram de isotopen aan die betrokken zijn bij deze vervalketens en teken de pijlen voor beide vervalketens.



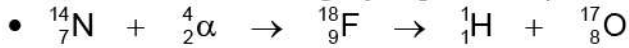
## Gestimuleerde reacties

4\*\*

a Maak de reactievergelijking van stap 1 compleet.

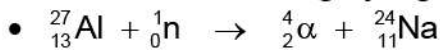


b Maak de reactievergelijking van stap 1 + stap 2 compleet.

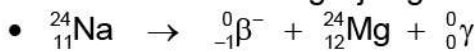


5\*\*

a Maak de reactievergelijking compleet.



b Geef de reactievergelijking van deze spontane reactie.

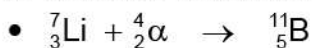


c Controleer of het reactieproduct (de dochterkern) een stabiel isotoop is.

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

6\*\*

a Maak de reactievergelijking compleet.

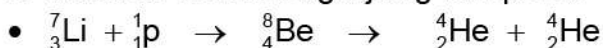


b Controleer of het reactieproduct een stabiel isotoop is.

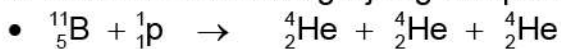
- er ontstaat  ${}^{11}_5\text{B}$  en dit is een stabiel isotoop

7\*\*\*

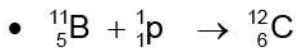
a Maak de reactievergelijking compleet.



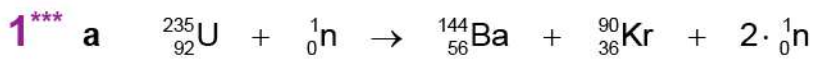
b Maak de reactievergelijking compleet.



c Maak de reactievergelijking compleet.



## 9.7 Massa en energie



2\*\*\* a Bereken hoeveel massa met deze hoeveelheid energie correspondeert.

- $2800 \text{ kWh} = 2800 \cdot 3,6 \cdot 10^6 = 1,008 \cdot 10^{10} \text{ J}$
- $E = m \cdot c^2$
- $1,008 \cdot 10^{10} = m \cdot (3,0 \cdot 10^8)^2 \rightarrow m = 1,12 \cdot 10^{-7} \text{ kg}$

b Bereken hoeveel liter stookolie er verbrand moet worden om aan de jaarlijkse elektrische energiebehoefte te voldoen. Neem aan dat er geen verliezen zijn.

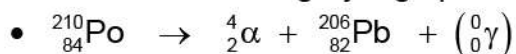
- aantal  $\text{m}^3$  stookolie per jaar  $\rightarrow \frac{1,008 \cdot 10^{10}}{40 \cdot 10^9} = 0,252 \text{ m}^3$
- aantal liter stookolie per jaar  $\rightarrow 0,252 \cdot 1000 = 252 \text{ liter}$

c Bereken hoeveel liter stookolie verbrand moet worden om evenveel energie te krijgen als de energie die vrijkomt bij volledige omzetting van 1,0 kg materie in energie.

- $E = m \cdot c^2$  met  $m = 1 \text{ kg} \rightarrow E = 1 \cdot (3,0 \cdot 10^8)^2 = 9,0 \cdot 10^{16} \text{ J}$
- aantal  $\text{m}^3$  stookolie per jaar  $\rightarrow \frac{9,0 \cdot 10^{16}}{40 \cdot 10^9} = 2,25 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
- aantal liter stookolie per jaar  $\rightarrow 2,25 \cdot 10^6 \cdot 1000 = 2,25 \cdot 10^9 = 2,3 \cdot 10^9 \text{ liter}$

### Massadefect

3\*\*\* a Stel de reactievergelijking op.



b Leg uit waarom dit het geval is.

- energie kan alleen worden toegevoegd door de kern te beschieten met deeltjes
- het is dan geen spontaan proces meer
- een spontaan proces kan alleen verlopen als er geen energie hoeft te worden toegevoegd

c Bereken uit het massadefect de hoeveelheid vrijkomende energie.

- $\Delta m = 5,82 \cdot 10^{-3} \cdot 1,660539 \cdot 10^{-27} = 9,6643 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$
- $E = m \cdot c^2$
- $E = 9,6643 \cdot 10^{-30} \cdot (3,0 \cdot 10^8)^2 = 8,6979 \cdot 10^{-13} = 8,7 \cdot 10^{-13} \text{ J}$

- 4\*\*\*** a Beredeneer of deze vervalprocessen spontaan kunnen verlopen.
- in beide gevallen ontstaat er massa
  - er wordt energie toegevoegd
  - beide processen kunnen niet spontaan verlopen

- 5\*\*\*\*** a Bepaal met welke deeltjes het beryllium is beschoten.
- ${}^9_4\text{Be} + ? \rightarrow {}^7_3\text{Li} + {}^4_2\alpha$
  - $? = {}^2_1\text{H}$
- b Leg uit of bij deze kernreactie sprake is van massatoename of massa-afname.
- voor de reactie  $\rightarrow E = 4,0 \cdot 10^{-13} \text{ J}$
  - na de reactie  $\rightarrow 5,13 \cdot 10^{-13} + 1,04 \cdot 10^{-12} = 1,553 \cdot 10^{-12} \text{ J}$
  - er ontstaat energie
  - massa verdwijnt  $\rightarrow$  massa-afname
- c Bereken het massadefect uitgedrukt in u.
- er is  $1,553 \cdot 10^{-12} - 4,0 \cdot 10^{-13} = 1,153 \cdot 10^{-12} \text{ J}$  energie ontstaan
  - $E = m \cdot c^2 \rightarrow 1,153 \cdot 10^{-12} = m \cdot (3,0 \cdot 10^8)^2 \rightarrow m = 1,28 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$

## Kernreactor

- 6\*\*\*** a Bepaal het atoomnummer, de naam en het massagetal van kern X.
- ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{90}\text{Sr} + \text{X} + 2 \cdot {}^1_0\text{n}$
  - massagetal begin = massagetal eind  $\rightarrow$  X heeft massagetal  $235 + 1 - 90 - 2 = 144$
  - lading begin = lading eind
  - atoomnummer Sr is 38
  - atoomnummer X is  $92 + 0 - 38 - 0 = 54$
  - X is xenon (Xe) met massagetal 144  $\rightarrow {}^{144}_{54}\text{Xe}$

- 7\*\*\*\*** a Bereken hoeveel neutronen er ontstaan.
- X is de kern met massagetal 94, Y is de kern met massagetal 140
  - reactievergelijking:  ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{94}\text{X} + {}^{140}\text{Y} + ? \cdot {}^1_0\text{n}$
  - massagetal begin = massagetal eind  $\rightarrow 236 = 94 + 140 + ? \rightarrow ? = 2$
  - er ontstaan twee neutronen
- b Stel de vergelijking van deze kernreactie op.
- X of Y is een cesiumkern
  - cesium heeft atoomnummer 55
  - bij grotere kernen zijn er altijd meer neutronen dan protonen
  - kern Y is Cs

- ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_?^{94}\text{X} + {}_{55}^{140}\text{Cs} + 2 \cdot {}_0^1\text{n}$
- lading begin = lading eind
- $92 = ? + 55 + 0 \rightarrow ? = 37$
- rubidium (Rb) heeft atoomnummer 37
- reactievergelijking:  ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{37}^{94}\text{Rb} + {}_{55}^{140}\text{Cs} + 2 \cdot {}_0^1\text{n}$

**c** Ga na welke stabiele kernen er uiteindelijk worden gevormd.

- vervalketen van Rb-94
  - ${}_{37}^{94}\text{Rb} \rightarrow {}_{38}^{94}\text{Sr} + {}_{-1}^0\beta$
  - ${}_{38}^{94}\text{Sr} \rightarrow {}_{39}^{94}\text{Y} + {}_{-1}^0\beta$
  - ${}_{39}^{94}\text{Y} \rightarrow {}_{40}^{94}\text{Zr} + {}_{-1}^0\beta$
- Zr-94 is stabiel [het staat niet in Binas, maar Zr-94 komt 17,4% voor in de natuur](#)
- vervalketen van Cs-140
  - ${}_{55}^{140}\text{Cs} \rightarrow {}_{56}^{140}\text{Ba} + {}_{-1}^0\beta$
  - ${}_{56}^{140}\text{Ba} \rightarrow {}_{57}^{140}\text{La} + {}_{-1}^0\beta$
  - ${}_{57}^{140}\text{La} \rightarrow {}_{58}^{140}\text{Ce} + {}_{-1}^0\beta$
- Ce-140 is stabiel

**8+**

- a** Leg uit waarom het beter is om als moderator een stof met lichte kernen te gebruiken dan een stof met zware atoomkernen.
- als een neutron botst met een atoomkern draagt het een deel van zijn kinetische energie op de kern over
  - als de kern veel zwaarder is dan een neutron kaatst het neutron met vrijwel dezelfde snelheid terug, zodat er maar weinig energie wordt overgedragen
  - als de kern niet veel zwaarder is dan een neutron wordt de kern door de botsende neutron in beweging gebracht, waarbij het neutron een deel van zijn kinetische energie overdraagt op de atoomkern