

10 Kernfysica

havo

10.1 Het verval van atoomkernen

- 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 ${}^7\text{Li}$?
- zoek op: 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 ${}^{40}\text{Ar}$?
- zoek op: 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 ${}^{238}\text{U}$?
- zoek op: U heeft atoomnummer 92 \rightarrow 92 protonen
 - massagetal is 238 $\rightarrow 238 - 92 = 146$ neutronen
 - aantal elektronen = aantal protonen = 92
- 3***
- a** Bereken de lading van een Pu kern.
- $94 \cdot e = 94 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 1,506 \cdot 10^{-17} \text{ C}$
- b** Leg uit hoeveel elektronen een Pu atoom heeft.
- atoomnummer 94 dus er zijn 94 elektronen
- c** Bereken het aantal neutronen in een Pu-244 kern.
- massagetal is 244 $\rightarrow 244 - 94 = 150$ neutronen
- d** Zoek op welk type straling Pu voornamelijk uitzendt.
- voornamelijk α -straling

- 4***
- a** Noem de drie verschillende soorten radioactieve straling.
- α - β - 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

- 5***
- 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 meeste voor (99,76%)
- d** Bereken van het ^{18}O isotoop het aantal neutronen in de kern.
- atoomnummer is 8 en atoommassa is 18 $\rightarrow 18 - 8 = 10$ neutronen
- e** Geef het symbool van dit isotoop in drie verschillende notaties.
- $^{18}_8\text{O}$ | ^{18}O | $\text{O}-18$
- f** Geef de reactievergelijking van het verval van het ^{15}O isotoop.
- $^{15}_8\text{O} \rightarrow {}^0_1\beta^+ + {}^{15}_7\text{N}$
- g** Geef de reactievergelijking van het verval van het ^{19}O isotoop.
- $^{19}_8\text{O} \rightarrow {}^0_{-1}\beta^- + {}^{19}_9\text{F}$

- 6*** 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	$244 - 94 = 150$

7*

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

8**

- Leg uit tot welk element dit atoom behoort.
 - 30 protonen → atoomnummer is 30 → Zn (zink)
- Zoek het aantal isotopen van dit element op.
 - 7 isotopen
- Zoek op welke isotopen van dit element radioactief zijn.
 - Zn-65 en Zn-69 zijn radioactief
- Zoek op welke isotopen van dit element β^- straling uitzenden.
 - ${}^{69}_{30}\text{Zn}$ zendt β^- straling uit
- 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.

- ${}^{65}_{30}\text{Zn}$ zendt γ -straling uit (fotonen)

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.

- ${}^{237}_{93}\text{Np} \rightarrow {}^4_2\alpha + {}^{233}_{91}\text{Pa} + {}^0_0\gamma$
- ${}^{239}_{93}\text{Np} \rightarrow {}^0_{-1}\beta + {}^{239}_{94}\text{Pu} + {}^0_0\gamma$

10**

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

- ${}^{114}_{49}\text{In} \rightarrow {}^0_{-1}\beta^- + {}^{114}_{50}\text{Sn}$ (er ontstaat een tin atoom)

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

- ${}^{114}_{49}\text{In} \rightarrow {}^0_1\beta^+ + {}^{114}_{48}\text{Cd}$ (er ontstaat een cadmium atoom)

11***

a ${}^{222}_{86}\text{Rn} \rightarrow {}^4_2\alpha + {}^{218}_{84}\text{Po}$

b ${}^{218}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^4_2\alpha + {}^{214}_{82}\text{Pb}$

c ${}^{214}_{82}\text{Pb} \rightarrow {}^0_{-1}\beta^- + {}^{214}_{83}\text{Bi} + {}^0_0\gamma$

d ${}^{214}_{83}\text{Bi} \rightarrow {}^0_{-1}\beta^- + {}^{214}_{84}\text{Po}$

e ${}^{30}_{15}\text{P} \rightarrow {}^0_1\beta^+ + {}^{30}_{14}\text{Si}$

12***

a Bereken hoeveel verschillende soorten Cl_2 moleculen er bestaan.

- ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ en ${}^{37}_{17}\text{Cl}$
- er zijn 3 combinaties mogelijk: ${}^{35}_{17}\text{Cl} - {}^{35}_{17}\text{Cl}$ | ${}^{35}_{17}\text{Cl} - {}^{37}_{17}\text{Cl}$ | ${}^{37}_{17}\text{Cl} - {}^{37}_{17}\text{Cl}$

b Bereken de moleculemassa's van deze verschillende moleculen.

- ${}^{35}_{17}\text{Cl} - {}^{35}_{17}\text{Cl} \rightarrow 2 \cdot 34,96885 = 69,9377 \text{ u}$
- ${}^{35}_{17}\text{Cl} - {}^{37}_{17}\text{Cl} \rightarrow 34,96885 + 36,96590 = 71,93475 \text{ u}$
- ${}^{37}_{17}\text{Cl} - {}^{37}_{17}\text{Cl} \rightarrow 2 \cdot 36,96590 = 73,9318 \text{ u}$

c Leg dit uit.

- bij centrifugeren gaan de zwaarste moleculen aan de buitenkant zitten

- na het centrifugeren zitten de $^{37}_{17}\text{Cl} - ^{37}_{17}\text{Cl}$ moleculen aan de buitenkant, de $^{35}_{17}\text{Cl} - ^{37}_{17}\text{Cl}$ moleculen halverwege en de $^{35}_{17}\text{Cl} - ^{35}_{17}\text{Cl}$ aan de binnenkant

13**** a Zoek op in welke verhouding deze stabiele Cu isotopen op aarde voorkomen.

- $^{63}_{29}\text{Cu}$ komt 69,17 % voor in natuurlijk koper
- $^{65}_{29}\text{Cu}$ komt 30,83 % voor in natuurlijk koper

b Bereken de gemiddelde atoommassa van koper.

- van 100 atomen zijn er gemiddeld 69,17 $^{63}_{29}\text{Cu}$ en 30,83 $^{65}_{29}\text{Cu}$
- 100 atomen wegen $69,17 \cdot 63 + 30,83 \cdot 65 = 6361,66$ u
- één atoom weegt gemiddeld $\frac{6361,66}{100} = 63,6166 = 63,6$ u

c Leg uit of jouw waarde overeenkomt met die in het periodieke systeem.

- het periodiek systeem geeft 63,55 u → er is geen exacte overeenstemming
- dit komt omdat het proton en het neutron in een koperatoom niet precies een massa van 1 u hebben

14+ a Leg uit wat een nucleair isomeer is.

- een nucleair isomeer is de metastabiele (hoog energetische) toestand van een isotoop
- de extra energie wordt na een poosje meestal als γ -foton uitgezonden

b Leg uit dat krypton-81m niet kan ontstaan uit β^- verval.

- $^{81}_{35}\text{Br} \rightarrow ^0_{-1}\beta^- + ^{81}_{36}\text{Kr}$
- $^{81}_{35}\text{Br}$ is niet radioactief → de reactie verloopt niet spontaan

c Leg uit dat krypton-81m ook niet kan ontstaan uit β^+ verval.

- $^{81}_{37}\text{Rb} \rightarrow ^0_{+1}\beta^+ + ^{81}_{36}\text{Kr}$
- het $^{81}_{37}\text{Rb}$ is een β^- -straler en niet een β^+ - straler → de reactie zal niet spontaan verlopen

d Geef de vervalvergelijking van krypton-81m.

- $^{81\text{m}}_{36}\text{Kr} \rightarrow ^{81}_{36}\text{Kr} + ^0_0\gamma$

10.2 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 in Binas.
- 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 zijn ontstaan of zijn gemaakt**
- 3***
- a** Hoeveel radioactieve kernen zijn er aanwezig na 1 dag.
- na 1 dag is nog $\frac{1}{2}$ aanwezig $\rightarrow n = 1$
 - $N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow N = 1000 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^1 = 500$ kernen
- b** 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 $\rightarrow n = 2$
 - $N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow N = 1000 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 250$ kernen

c Hoeveel radioactieve kernen zijn er vervallen na 3 dagen.

- na 3 dagen is nog $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$ aanwezig $\rightarrow n = 3$
- $N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow N = 1000 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^3 = 125$ kernen aanwezig
- er zijn $1000 - 125 = 875$ kernen vervallen

4**

a Zoek de halveringstijd van P-30 op.

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

b Hoeveel kernen zijn er aanwezig na 20 minuten?

- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow n = \frac{20}{2,5} = 8$
- $N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow N = 1,0 \cdot 10^9 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^8 = 3,90625 \cdot 10^6 = 3,9 \cdot 10^6$ kernen

b Hoeveel kernen zijn er aanwezig na 40 minuten?

- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow n = \frac{40}{2,5} = 16$
- $N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow N = 1,0 \cdot 10^9 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{16} = 1,52588 \cdot 10^4 = 1,5 \cdot 10^4$ kernen

c Hoeveel kernen zijn er in 60 minuten vervallen?

- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow n = \frac{60}{2,5} = 24$
- $N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow N = 1,0 \cdot 10^9 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{24} = 59,6046$ kernen
- er zijn $1,0 \cdot 10^9 - 59,6 = 1,0 \cdot 10^9$ 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?

- stel $N_0 = 100$ | $N = 100 - 75 = 25$ **bij % berekening stel je N_0 op 100**
- $\frac{N}{N_0} = \frac{25}{100} = \frac{1}{4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \rightarrow n = 2$
- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow 2 = \frac{t}{25,3} \rightarrow t = 2 \cdot 25,3 = 50,6 = 51$ dagen

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

• stel $N_0 = 100$ | $N = 6,25$ bij % berekening stel je N_0 op 100

$$\bullet \frac{N}{N_0} = \frac{6,25}{100} = \frac{1}{16} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^4 \rightarrow n = 4$$

$$\bullet n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow 4 = \frac{t}{25,3} \rightarrow t = 4 \cdot 25,3 = 101,2 = 1,0 \cdot 10^2 \text{ dagen}$$

6**

a Hoe oud is de ploeg?

• opzoeken $t_{1/2} = 5730$ jaar

• er is nog 1/4 deel over

$$\bullet \frac{1}{4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \rightarrow n = 2$$

$$\bullet n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow 2 = \frac{t}{5730} \rightarrow t = 2 \cdot 5730 = 11460 = 1,146 \cdot 10^4 \text{ jaar}$$

7***

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

• 7 gram is vervallen \rightarrow er is nog 1 gram aanwezig

• opzoeken $t_{1/2} = 8,0$ dagen

• stel $N_0 = 8$ (gram) | $N = 1$ (gram) gebruik gram in plaats van aantal kernen

$$\bullet \frac{N}{N_0} = \frac{1}{8} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^3 \rightarrow n = 3$$

$$\bullet n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow 3 = \frac{t}{8,0} \rightarrow t = 3 \cdot 8 = 24 \text{ dagen}$$

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

• stel $N_0 = 100$ | $N = 100 - 93,75 = 6,25$ bij % berekening stel je N_0 op 100

$$\bullet \frac{N}{N_0} = \frac{6,25}{100} = \frac{1}{16} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^4 \rightarrow n = 4$$

$$\bullet n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow 4 = \frac{t}{8,0} \rightarrow t = 4 \cdot 8 = 32 \text{ dagen}$$

8***

a Bereken de halveringstijd van deze stof.

• stel $N_0 = 100$ | $N = 12,5$ bij % berekening stel je N_0 op 100

$$\bullet \frac{N}{N_0} = \frac{12,5}{100} = \frac{1}{8} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^3 \rightarrow n = 3$$

$$\bullet n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow 3 = \frac{24}{t_{1/2}} \rightarrow t_{1/2} = \frac{24}{3} = 8,0 \text{ uur}$$

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

- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow n = \frac{16}{8} = 2$

- $N = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 25 \rightarrow$ er is 25% aanwezig bij % berekening stel je N_0 op 100

- er is $100 - 25 = 75\%$ vervallen

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

- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow n = \frac{48}{8} = 6$

- $N = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^6 = 1,5625 \rightarrow$ er is 1,5625% aanwezig stel N_0 op 100%

- er is $100 - 1,5625 = 98,4375 = 98\%$ 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

- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow n = \frac{150}{30} = 5$

- $N = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^5 = 3,125 \rightarrow$ er is 3,1% aanwezig bij % berekening stel je N_0 op 100

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

- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow n = \frac{300}{30} = 10$

- $N = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{10} = 9,765625 \cdot 10^{-2}$ bij % berekening stel je N_0 op 100

- er is $0,09765625 = 0,098\%$ aanwezig

d In welk jaar is het aantal Cs-137 kernen afgenomen tot 1,5625% van de oorspronkelijke hoeveelheid?

- $\frac{N}{N_0} = \frac{1,5625}{100} = \frac{1}{64} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^6 \rightarrow n = 6$

- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow 6 = \frac{t}{30} \rightarrow t = 6 \cdot 30 = 180$ 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?

- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow n = \frac{24}{4} = 6$

- $N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n$ met $N_0 = 900$

- $N = 900 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^6 = 14,0625 = 14$ kernen

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?

- stel $N_0 = 100$ | $N = 3,125$ bij % berekening stel je N_0 op 100

- $\frac{N}{N_0} = \frac{3,125}{100} = \frac{1}{32} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^5 \rightarrow n = 5$

- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow 5 = \frac{t}{23} \rightarrow t = 5 \cdot 23 = 115$ uur

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
- $0,18 \cdot \frac{9,6875}{100} = 0,174375 = 0,17$ 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}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}Pu is verdwenen?

- de helft van het ^{239}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?

- 1500 deeltjes per minuut is $1600/60 = 26,6667$ deeltjes per seconde
- $A = 26,7$ Bq

b Hoe groot is de halveringstijd van deze stof?

- $A_0 = 1600$ | $A = 100$

$$\bullet \frac{A}{A_0} = \frac{100}{1600} = \frac{1}{16} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^4 \rightarrow n = 4$$

$$\bullet n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow 4 = \frac{8}{t_{1/2}} \rightarrow t_{1/2} = \frac{8}{4} = 2,0 \text{ uur}$$

15**

a Bereken de halveringstijd.

- stel $N_0 = 100$ | $N = 12,5$ bij % berekening stel je N_0 op 100

$$\bullet \frac{N}{N_0} = \frac{12,5}{100} = \frac{1}{8} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^3 \rightarrow n = 3$$

$$\bullet n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow 3 = \frac{258}{t_{1/2}} \rightarrow t_{1/2} = \frac{258}{3} = 86 \text{ dagen}$$

- 16**** a Hoelang geleden leefde deze Neanderthaler?
- opzoeken ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow t_{1/2} = 5730$ jaar
 - stel $A_0 = 512$ | $A = 1$
 - $\frac{A}{A_0} = \frac{1}{512} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^9 \rightarrow n = 9$
 - $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow 9 = \frac{t}{5730} \rightarrow t = 9 \cdot 5730 = 5,157 \cdot 10^4$ jaar

- 17***** 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 $\rightarrow \frac{1}{4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \rightarrow n = 2$
 - $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow 2 = \frac{6}{t_{1/2}} \rightarrow t_{1/2} = \frac{6}{2} = 3$ 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.
- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow n = \frac{24}{3} = 8$
 - $N = 120 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^8 = 0,46875 = 0,47$ gram **gebruik gram in plaats van aantal kernen**

- e Bereken hoeveel van deze stof is vervallen na 12 uur.
- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow n = \frac{12}{3} = 4$
 - $N = 120 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^4 = 7,5$ gram **gebruik gram in plaats van aantal kernen**
 - na 12 uur is er $120 - 7,5 = 112,5$ gram vervallen

- 18**** 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 onafhankelijk van de hoeveelheid stof
 - de halveringstijden zijn gelijk aan elkaar

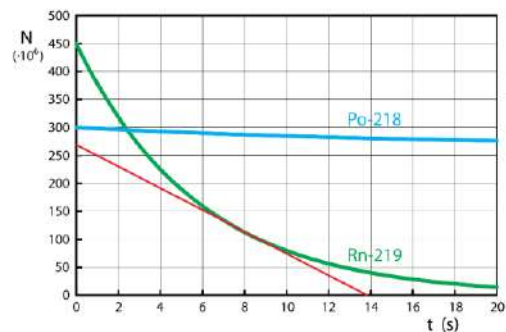
- b** Leg uit of de activiteit van 2 gram ^{131}I groter, kleiner of gelijk is aan de activiteit van 1,0 gram ^{131}I .
- de activiteit is recht evenredig met het aantal aanwezige kernen
 - de activiteit van 2 gram jood-131 is groter dan de activiteit van 1 gram jood-131

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 monsters afneemt in de tijd.
- $t_{1/2}$ verandert niet \rightarrow omdat N 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** Bepaal de activiteit van Rn-219 op $t = 8,0$ s.
- teken een lange raaklijn op $t = 8$ s
 - aflezen: $\Delta N = -265 \cdot 10^6$ kernen en $\Delta t = 13,8$ s
 - $A = -\left(\frac{\Delta N}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}}$
 - $A = \frac{265 \cdot 10^6}{13,9} = 1,9 \cdot 10^7$ Bq



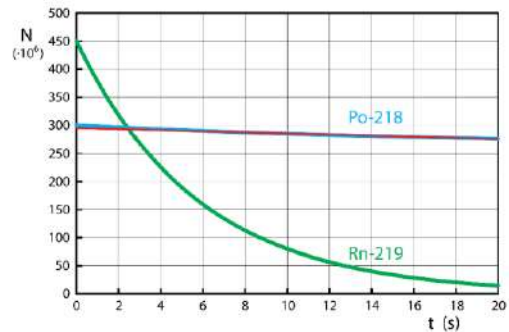
- b** Bepaal de gemiddelde activiteit van Rn-219 tussen $t = 0$ en $t = 16$ s.
- aflezen: $\Delta N = 30 \cdot 10^6 - 450 \cdot 10^{-6} = -420 \cdot 10^6$ kernen
 - $A_{\text{gem}} = -\frac{\Delta N}{\Delta t}$
 - $A_{\text{gem}} = \frac{420 \cdot 10^6}{16} = 2,6 \cdot 10^7$ Bq

c Bepaal de activiteit van Po-218 op $t = 8,0$ s.

- teken een lange raaklijn op $t = 8$ s
- $\Delta N = 275 \cdot 10^6 - 295 \cdot 10^6 = -20 \cdot 10^6$ kernen
- $\Delta t = 20$ s

$$A = - \left(\frac{\Delta N}{\Delta t} \right)_{\text{raaklijn}}$$

$$A = \frac{20 \cdot 10^6}{20} = 1,0 \cdot 10^6 \text{ Bq}$$



d Bepaal de gemiddelde activiteit van Po-218 tussen $t = 0$ en $t = 20$ s.

- aflezen: $\Delta N = 275 \cdot 10^6 - 300 \cdot 10^6 = -25 \cdot 10^6$ kernen

$$A_{\text{gem}} = - \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

$$A_{\text{gem}} = \frac{25 \cdot 10^6}{20} = 1,25 \cdot 10^6 \text{ Bq}$$

21***

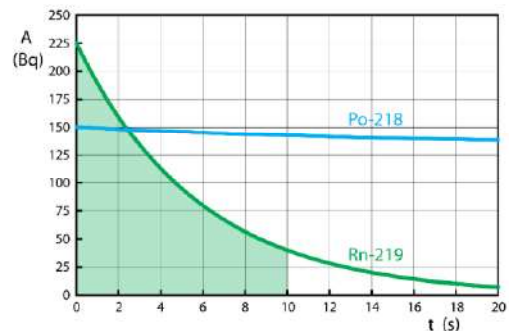
a Bepaal het aantal vervallen Rn-219 kernen op $t = 10$ s.

- tel 23 hokjes
- 1 hokje is 50 kernen
- $\Delta N = 23 \cdot 50 = 1,2 \cdot 10^3$ kernen

b Bepaal het aantal vervallen Po-218 kernen op $t = 10$ s.

- oppervlakte: schat $A_{\text{gem}} = 146$ Bq

$$A_{\text{gem}} = - \frac{\Delta N}{\Delta t} \rightarrow 146 = - \frac{\Delta N}{10} \rightarrow \Delta N = -1460 \rightarrow 1,5 \cdot 10^3 \text{ zijn vervallen}$$



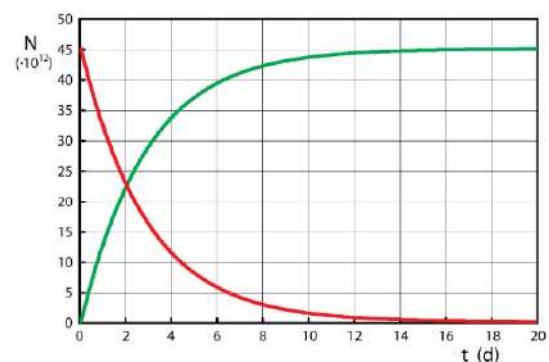
22***

a Schets het (N, t) -diagram van dit verval.

- $N = N_0 - N_{\text{vervallen}}$
- geeft rode grafiek

b Bepaal de halveringstijd.

- aflezen: $N_0 = 45 \cdot 10^{12}$
- $0,5 \cdot N_0 = 22,5 \cdot 10^{12}$
- 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 kernen af
- N neemt af en $t_{1/2}$ blijft gelijk $\rightarrow A$ 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
- $\Delta N = -22 \cdot 10^{12}$ | $\Delta t = 1,728 \cdot 10^5$ 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
- $\Delta N = -45 \cdot 10^{12}$ | $\Delta t = 1,728 \cdot 10^6$ s | $A_{\text{gem}} = \dots$ Bq
- $A_{\text{gem}} = -\frac{\Delta N}{\Delta t} \rightarrow A = \frac{45 \cdot 10^{12}}{1,728 \cdot 10^6} = 2,604 \cdot 10^7 = 2,6 \cdot 10^7 \text{ Bq}$

23***

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

24***

a Bereken de activiteit van 1,0 gram ^{131}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 $= 8 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 6,912 \cdot 10^5$ 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}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.

- $\frac{1}{64} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^6 \rightarrow n = 6$
- opzoeken: $t_{1/2} = 8,0$ dagen
- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow 6 = \frac{t}{8} \rightarrow t = 6 \cdot 8 = 48$ dagen

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

- 87,5% vervallen → 12,5% is nog aanwezig
- stel $N_0 = 100$ | $N = 12,5$ bij % berekening stel je N_0 op 100
- $\frac{N}{N_0} = \frac{12,5}{100} = \frac{1}{8} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^3 \rightarrow n = 3$
- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow 3 = \frac{t}{8} \rightarrow t = 3 \cdot 8 = 24$ dagen

25***

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
- $A = \frac{0,693}{t_{1/2}} \cdot N$
- $A = \frac{0,693}{1,728 \cdot 10^5} \cdot 8,0 \cdot 10^{12} = 3,2 \cdot 10^7$ Bq

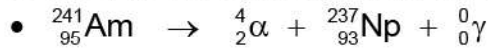
10.3 Ioniserende straling

- 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 er beschikbaar is hoe meer ionisaties er gemaakt kunnen worden
 - meer ionisaties betekent 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 tijd hebben ze al hun kinetische-energie verloren
- c** Leg uit waarom dit het geval is.
- een kleine dracht wordt veroorzaakt door veel botsingen (interactie) met de stof
 - kinetische-energie wordt gebruikt om atomen te ioniseren
 - een snelle afname van de kinetische-energie correspondeert met veel ionisaties
- d** Leg uit waarom dit het geval is.
- in een stof met een hoge dichtheid zijn veel atomen per volume en/of hebben de atomen een grote massa
 - bij een stof met een grotere dichtheid zullen de α - en β -deeltjes veel atomen tegenkomen en/of worden ze per botsing meer afgeremd
 - als α - en β -deeltjes sterk 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 hiervoor het beste een α -straler een β -straler of een γ -straler kunt gebruiken.
- α -straling kan niet gebruikt worden 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 te 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 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 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

e 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 sta je bloot aan α -straling
- α -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?

- stel $I_0 = 100$ | $I = 12,5$ bij % berekening stel je I_0 op 100

- $\frac{I}{I_0} = \frac{12,5}{100} = \frac{1}{8} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^3 \rightarrow n = 3$

- $n = \frac{d}{d_{1/2}} \rightarrow 3 = \frac{d}{5} \rightarrow d = 3 \cdot 5 = 15 \text{ mm} \rightarrow$ het plaatje moet 15 mm dik zijn

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

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

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

- het plaatje moet 7 keer de halveringsdikte hebben

- $n = \frac{d}{d_{\sqrt{2}}} \rightarrow 7 = \frac{d}{5} \rightarrow d = 7 \cdot 5 = 35 \text{ mm} \rightarrow$ het plaatje moet 35 mm dik zijn

6**

a Hoe dik is het plaatje?

- stel $I_0 = 100$ | $I = 6,25$ bij % berekening stel je I_0 op 100

- $\frac{I}{I_0} = \frac{6,25}{100} = \frac{1}{16} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^4 \rightarrow n = 4$

- $n = \frac{d}{d_{\sqrt{2}}} \rightarrow 4 = \frac{d}{2} \rightarrow d = 4 \cdot 2 = 8 \text{ mm} \rightarrow$ het plaatje moet 8,0 cm dik zijn

b Hoe dik is dit plaatje?

- $100 - 87,5 = 12,5 \rightarrow 12,5 \%$ wordt doorgelaten

- stel $I_0 = 100$ | $I = 12,5$ bij % berekening stel je I_0 op 100

- $\frac{I}{I_0} = \frac{12,5}{100} = \frac{1}{8} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^3 \rightarrow n = 3$

- $n = \frac{d}{d_{\sqrt{2}}} \rightarrow 3 = \frac{d}{2} \rightarrow d = 3 \cdot 2 = 6 \text{ mm} \rightarrow$ het plaatje moet 6,0 cm dik zijn

c Hoe dik is dit plaatje?

- stel $I_0 = 100$ | $I = 0,1953$ bij % berekening stel je I_0 op 100

- $\frac{I}{I_0} = \frac{0,1953}{100} = \frac{1}{512} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^9 \rightarrow n = 9$

- $n = \frac{d}{d_{\sqrt{2}}} \rightarrow 9 = \frac{d}{2} \rightarrow d = 9 \cdot 2 = 18 \text{ mm} \rightarrow$ het plaatje moet 18 cm dik zijn

7***

a Bereken de dikte van het eerste plaatje.

- stel $I_0 = 100$ | $I = 25$ bij % berekening stel je I_0 op 100

- $\frac{I}{I_0} = \frac{25}{100} = \frac{1}{4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \rightarrow n = 2$

- $n = \frac{d}{d_{\sqrt{2}}} \rightarrow 2 = \frac{d}{1,5} \rightarrow d = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ mm} \rightarrow$ het plaatje moet 3,0 cm dik zijn

b Bereken de dikte van het tweede plaatje.

- stel $I_0 = 100$ | $I = 6,25$ **bij % berekening stel je I_0 op 100**
- $\frac{I}{I_0} = \frac{6,25}{100} = \frac{1}{16} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^4 \rightarrow n = 4$
- $n = \frac{d}{d_{1/2}} \rightarrow 4 = \frac{d}{1,5} \rightarrow d = 4 \cdot 1,5 = 6 \text{ cm} \rightarrow$ de plaatjes zijn samen 6,0 cm dik
- plaatje 1 is 3,0 cm dik \rightarrow plaatje 2 is $6,0 - 3,0 = 3,0$ cm dik

8***

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

- plaatje A $n = \frac{d}{d_{1/2}} \rightarrow n = \frac{2}{2} \rightarrow n = 1$
- plaatje B $n = \frac{d}{d_{1/2}} \rightarrow n = \frac{10}{5} \rightarrow n = 2$
- $n_{\text{totaal}} = 1 + 2 = 3 \rightarrow$ de γ -stralen gaan door 3 keer de halveringsdikte
- $I = I_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow I = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^3 = 12,5$ **bij % berekening stel je I_0 op 100**
- 12,5% van de straling komt in de detector

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

- plaatje A $n = \frac{d}{d_{1/2}} \rightarrow n = \frac{8}{2} \rightarrow n = 4$
- plaatje B $n = \frac{d}{d_{1/2}} \rightarrow n = \frac{15}{5} \rightarrow n = 3$
- $n_{\text{totaal}} = 4 + 3 = 7 \rightarrow$ de γ -stralen gaan door 7 keer de halveringsdikte
- $I = I_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow I = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^7 = 0,78125$ **bij % berekening stel je I_0 op 100**
- 0,78% van de straling komt in de detector

9***

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

- opzoeken $d_{1/2} = 0,0106 \text{ cm}$
- $n = \frac{d}{d_{1/2}} \rightarrow n = \frac{0,053}{0,0106} = 5$
- $I = I_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow I = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^5 = 3,125$ **bij % berekening stel je I_0 op 100**
- 3,125 % wordt doorgelaten $\rightarrow 100 - 3,125 = 96,875 = 97 \%$ wordt tegengehouden

10***




- a** Leg uit welke grafiek in figuur 2 bij weefsel hoort en welke bij bot.
- uit figuur 1 blijkt dat bot een kleinere halveringsdikte heeft dan water
 - de intensiteit van γ -straling wordt door bot sneller gehalveerd dan door water
 - grafiek 2 hoort bij bot en grafiek 1 bij water en dus ook bij weefsel
- b** Bepaal met behulp van de figuren 1 en 2 de energie van de gebruikte γ -deeltjes.
- in figuur 2 daalt grafiek 1 van 80 naar 40 W m^{-2} in 16 cm $\rightarrow d_{1/2} = 16$ cm
 - grafiek 1 hoort bij water
 - in figuur 1 zie dat water een halveringsdikte van 16 cm heeft bij $E = 2,5$ MeV
- c** Bepaal de intensiteit van de γ -straling waarmee de patiënt moet worden bestraald om bij de tumor de gewenste intensiteit te krijgen.
- in 10 cm daalt de intensiteit van 80 naar 52,5 W m^{-2}
 - de intensiteit moet toenemen met factor $\frac{126}{52,5} = 2,4$
 - de patiënt moet worden bestraald met $2,4 \cdot 80 = 192 \text{ W m}^{-2}$

11****

- a** Bepaal hoe dik de wanden van de betonnen kluis zijn.
- $\frac{I}{I_0} = \frac{62,5}{1000} = \frac{1}{16} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^4 \rightarrow n = 4$
 - $n = \frac{d}{d_{1/2}} \rightarrow 4 = \frac{10}{d_{1/2}} \rightarrow d_{1/2} = \frac{10}{4} = 2,5$ cm
 - aflezen: de γ -deeltjes hebben een energie van 3,0 MeV
 - bij deze energie is $d_{1/2}$ van beton 8,0 cm
 - $n = \frac{d}{d_{1/2}} \rightarrow 4 = \frac{d}{8} \rightarrow d = 4 \cdot 8 = 32$ cm
- b** Leg uit of van de tweede bron er per seconde meer of minder γ -deeltjes door de wanden van de kluis gaan dan van de eerste bron.
- bij 6,0 MeV is de halveringsdikte van beton groter dan bij 3,0 MeV
 - de intensiteit van de γ -straling wordt minder vaak gehalveerd
 - per seconde gaan er van de tweede bron meer deeltjes door de wanden van de kluis
- + c** Controleer met een berekening of aan deze eis is voldaan.
- aflezen: bij 6,0 MeV is de halveringsdikte van beton 11 cm
 - $n = \frac{d}{d_{1/2}} \rightarrow n = \frac{32}{11} = 2,90909$
 - $I = I_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow I = 1000 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{2,90909} = 133,13$
 - $I_{\text{tot}} = I_{\text{bron 1}} + I_{\text{bron 2}} \rightarrow I_{\text{tot}} = 62,5 + 133,13 = 195,63$
 - dit is minder dan 200 dus aan de eis is voldaan

10.4 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 dichtbij 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
 - de 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.
- ${}_{84}^{209}\text{Po} \rightarrow {}_2^4\alpha + {}_{82}^{205}\text{Pb}$
- c Leg uit welke van deze drie stoffen je het beste kunt gebruiken om de badges te testen.
- Sr-90 is het beste omdat het van de drie stoffen de enige is die alleen β^- -straling uitzendt

10.5 Absorptie van straling door materie

- 1****
- a** Leg uit waarom er lood in de pakken wordt verwerkt.
- lood absorbeert radioactieve 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 de belangrijkste verschillen tussen het gebruik van Ra-226 en 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.
- $E_{\text{abs}} = 60 \cdot 60 \cdot 1,0 \cdot 10^{-7} = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ J per uur} \quad | \quad m = 90 \text{ kg} \quad | \quad D = \dots \text{ Gy}$
 - $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m} \rightarrow D = \frac{3,6 \cdot 10^{-4}}{90} = 4,0 \cdot 10^{-6} \text{ Gy}$
 - $H = w_R \cdot D$ met $w_R = 20$ voor 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** Hoe groot is de dosislimiet die iemand beroepshalve mag ontvangen?
- opzoeken: beroepshalve vanaf 18 jaar per jaar $\rightarrow 20 \text{ mSv}$
- 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.

- $E_{\text{bron}} = P_{\text{bron}} \cdot t \rightarrow E_{\text{bron}} = 0,15 \cdot 10^{-6} \cdot 2,5 \cdot 60 = 2,25 \cdot 10^{-5} \text{ J}$

- $E_{\text{abs}} = 0,7 \cdot E_{\text{bron}} \rightarrow E_{\text{abs}} = 0,7 \cdot 2,25 \cdot 10^{-5} = 1,575 \cdot 10^{-5} \text{ J}$

- $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m}$

- $D = \frac{1,575 \cdot 10^{-5}}{12} = 1,3125 \cdot 10^{-6} = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ Gy}$

b Bereken de activiteit van de stralingsbron.

- $E_{\text{deeltje}} = 0,40 \cdot 10^6 \cdot 1,6022 \cdot 10^{-19} = 6,4088 \cdot 10^{-14} \text{ J}$

- $P_{\text{bron}} = A \cdot E_{\text{deeltje}}$

- $0,15 \cdot 10^{-6} = A \cdot 6,4088 \cdot 10^{-14} \rightarrow A = 2,34053 \cdot 10^6 = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Bq}$

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

- $D = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ J/kg} \quad | \quad m = 65 \text{ kg} \quad | \quad E_{\text{abs}} = \dots \text{ J}$

- $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m}$

- $5,0 \cdot 10^{-3} = \frac{E_{\text{abs}}}{65} \rightarrow E_{\text{abs}} = 65 \cdot 5,0 \cdot 10^{-3} = 0,325 = 0,33 \text{ J}$

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

- per seconde: $E_{\text{abs}} = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ J}$

- totaal: $E_{\text{abs}} = 0,325 \text{ J}$

- aantal seconden: $t = \frac{0,325}{1,0 \cdot 10^{-7}} = 3,25 \cdot 10^6 \text{ s}$

- aantal uur: $t = \frac{3,25 \cdot 10^6}{60 \cdot 60} = 903 = 9,0 \cdot 10^2 \text{ uur}$

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

- $t = 15 \text{ min} = 60 \cdot 15 = 900 \text{ s} \quad | \quad P = 5,0 \cdot 10^{-9} \text{ J/s} \quad | \quad D = \dots \text{ Gy}$

- $E_{\text{abs}} = P \cdot t = 5,0 \cdot 10^{-9} \cdot 900 = 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ J}$

- $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m} \rightarrow D = \frac{4,5 \cdot 10^{-6}}{60} = 7,5 \cdot 10^{-8} \text{ Gy}$

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.

- $t = 20$ uur per week | $H = 7,0 \cdot 10^{-6}$ Sv per uur | $H = \dots$ Sv per jaar
- $D = 20 \cdot 7,0 \cdot 10^{-6} = 1,4 \cdot 10^{-4}$ Sv per week
- 45 werkweken in een jaar
- $D = 45 \cdot 1,4 \cdot 10^{-4} = 6,3 \cdot 10^{-3}$ 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: $t = \frac{4,44444 \cdot 10^{-4}}{7,0 \cdot 10^{-6}} = 63,492 = 64$ uur per week

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

- $P = 1,5 \cdot 10^{-3}$ W | $t = 20$ s | $m = 0,2$ kg | $D = \dots$ Gy
- $E_{\text{abs}} = P \cdot t = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 0,03$ J
- $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m}$
- $D = \frac{0,03}{0,2} = 0,15$ Gy

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

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

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

- 30 seconden per dag 250 dagen per jaar = 7500 seconden per jaar
- $E_{\text{abs}} = 0,003$ J/s
- $E_{\text{abs}} = 7500 \cdot 0,003 = 22,5$ J per jaar
- $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m} \rightarrow D = \frac{22,5}{0,3} = 75$ Gy
- $H = w_R \cdot D \rightarrow H = 0,9 \cdot 75 = 67,5 = 68$ Sv

9***

a Bereken de stralingsdosis die de huid ontvangt.

• $P = 6,0 \cdot 10^{-8} \text{ W} \quad | \quad t = 3 \cdot 60 = 180 \text{ s} \quad | \quad m = 0,018 \text{ kg} \quad | \quad D = \dots \text{ Gy}$

• $E_{\text{abs}} = 0,15 \cdot E_{\text{uitgestraald}} \rightarrow E_{\text{abs}} = 0,15 \cdot 6,0 \cdot 10^{-8} \cdot 180 = 1,62 \cdot 10^{-6} \text{ J}$

• $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m}$

• $D = \frac{1,62 \cdot 10^{-6}}{0,018} = 9,0 \cdot 10^{-5} \text{ Gy} \quad (\text{J/kg})$

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 Hoe groot is de dosislimiet die iemand per jaar mag ontvangen?

• opzoeken: individuele leden van de bevolking $\rightarrow 1 \text{ mSv}$

d 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

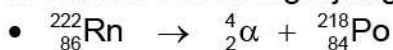
b Word je radioactief bestraald als je uit uraniumglas drinkt?

• de radioactieve straling kan wel uit het glas ontsnappen

• je wordt wel radioactief bestraald

11***

a Stel de vervalvergelijking van radon-222 op.



b Toon aan dat de activiteit van radon-222 van de ingeademde huiskamerlucht per kubieke meter 24 Bq bedraagt.

• α -deeltje 5,486 MeV energie $\rightarrow E_{\text{deeltje}} = 5,486 \cdot 10^6 \cdot 1,6022 \cdot 10^{-19} = 8,78954 \cdot 10^{-13} \text{ J}$

• $E_{\text{per seconde}} = 5,3 \cdot 10^{-14} \text{ J} \quad | \quad E_{\text{deeltje}} = 8,78954 \cdot 10^{-13} \quad | \quad A = \dots \text{ Bq}$

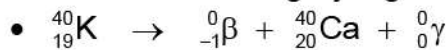
• $P_{\text{bron}} = A \cdot E_{\text{deeltje}} \rightarrow 5,3 \cdot 10^{-14} = A \cdot 8,78954 \cdot 10^{-13} \rightarrow A = 6,02989 \cdot 10^{-2} \text{ Bq}$

• A per $\text{m}^3 \rightarrow A = \frac{1000}{2,5} \cdot 6,02989 \cdot 10^{-2} = 24,1196 = 24 \text{ Bq}$

c Bereken het dosisequivalent dat iemand per jaar door het inademen van radon-222 ontvangt als hij uitsluitend huiskamerlucht inademt.

- $E_{\text{per seconde}} = 5,3 \cdot 10^{-14} \text{ J} \quad | \quad t = 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s} \quad | \quad E_{\text{abs}} = \dots \text{ J}$
- $E_{\text{abs}} = 5,3 \cdot 10^{-14} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 1,6714 \cdot 10^{-6} \text{ J}$
- $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m}$
- $D = \frac{1,6714 \cdot 10^{-6}}{0,15} = 1,11427 \cdot 10^{-5} \text{ Gy}$
- $H = w_R \cdot D$ met $w_R = 20$
- $H = 20 \cdot 1,11427 \cdot 10^{-5} = 2,2285 \cdot 10^{-4} = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}$

12**** a Stel de vervalvergelijking van K-40 op.



b Bereken de activiteit van het K-40 in het spierstelsel van een volwassene.

- aantal kaliumatomen in de spieren $\rightarrow 98 \cdot 1,54 \cdot 10^{22} = 1,5092 \cdot 10^{24}$
- aantal kalium-40 atomen $\rightarrow \frac{0,012}{100} \cdot 1,5092 \cdot 10^{24} = 1,81104 \cdot 10^{20}$
- halveringstijd $\rightarrow 1,28 \cdot 10^9 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 4,036608 \cdot 10^{16} \text{ s}$
- $A = \frac{0,693}{t_{1/2}} \cdot N$
- $A = \frac{0,693}{4,0366 \cdot 10^{16}} \cdot 1,81104 \cdot 10^{20} = 3,10917 \cdot 10^3 = 3,1 \cdot 10^3 \text{ Bq}$

c Bereken de stralingsdosis die het spierstelsel in een jaar als gevolg van K-40.

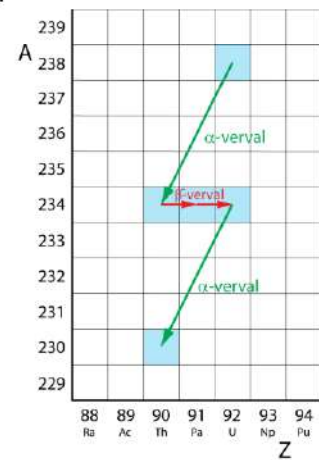
- β^- -deeltje heeft 1,33 MeV energie $\rightarrow E_{\text{deeltje}} = 1,33 \cdot 10^6 \cdot 1,6022 \cdot 10^{-19} = 2,131 \cdot 10^{-13} \text{ J}$
- $A = 3,10917 \cdot 10^3 \text{ Bq} \quad | \quad E_{\text{deeltje}} = 2,131 \cdot 10^{-13} \text{ J} \quad | \quad P = \dots \text{ J/s}$
- $P = A \cdot E_{\text{deeltje}} \rightarrow P = 3,10917 \cdot 10^3 \cdot 2,131 \cdot 10^{-13} = 6,62564 \cdot 10^{-10} \text{ J/s}$
- energie per jaar $\rightarrow E = 6,62564 \cdot 10^{-10} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 2,08946 \cdot 10^{-2} \text{ J}$
- geabsorbeerde energie per jaar $\rightarrow E_{\text{abs}} = 0,33 \cdot 2,08946 \cdot 10^{-2} = 6,89523 \cdot 10^{-3} \text{ J}$
- $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m}$
- $D = \frac{6,89522 \cdot 10^{-3}}{30} = 2,29841 \cdot 10^{-4} = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ Gy}$

10.6 Kernreacties

Vervalketen

1***

- a** Bij hoeveel van deze stappen wordt er een α -deeltje uitgezonden?
- massagetel 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 massagetel wordt veroorzaakt door het uitzenden van α -deeltjes of door het uitzenden van β^- -deeltjes.
- het massagetel 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 massagetel 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

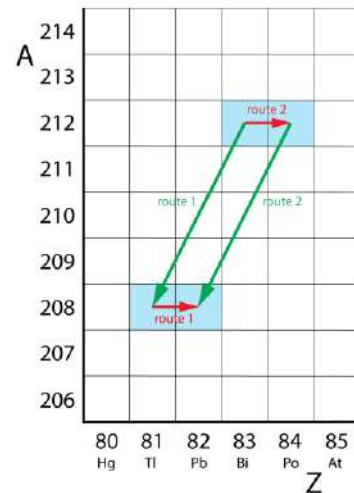
- c Geef de vervalketen waarbij eerst een α -deeltje wordt uitgezonden.

- 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: ${}_{84}^{212}\text{Po} \rightarrow {}_2^4\alpha + {}_{82}^{208}\text{Pb}$

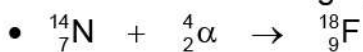
- e Geef in het (A, Z)-diagram de isotopen aan die betrokken zijn bij deze vervalketen en teken de pijlen voor beide vervalketens.



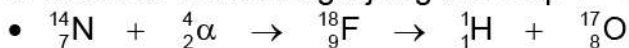
Gestimuleerde reacties

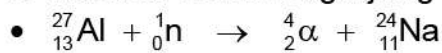
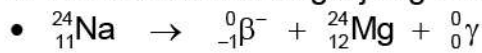
4**

- a Maak de reactievergelijking van stap 1 kloppend:

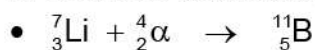


- b Maak de reactievergelijking van stap 1 + stap 2 compleet.

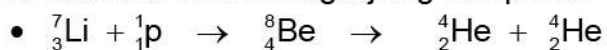
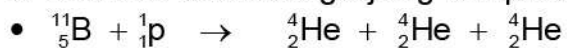
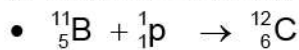


5****a** Maak de reactievergelijking compleet.**b** Geef de reactievergelijking van deze spontane reactie.**c** Controleer of het reactieproduct (de dochterkern) een stabiel isotoop is.

- er ontstaat ${}_{12}^{24}\text{Mg}$ 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 ${}_{5}^{11}\text{B}$ en dit is een stabiel isotoop

7*****a** Maak de reactievergelijking compleet.**b** Maak de reactievergelijking compleet.**c** Maak de reactievergelijking compleet.

Examenvragen havo

Radongas

- 3p **1** Geef de vervalreactie van radon-222.
- ${}_{86}^{222}\text{Rn} \rightarrow {}_2^4\alpha + {}_{84}^{218}\text{Po}$
 - ${}_2^4\alpha$ rechts van de pijl 1
 - ${}_{84}^{218}\text{Po}$ als vervalproduct 1
 - aantal nucleonen voor en na de pijl gelijk 1
- 3p **2** Leg uit hoeveel α -deeltjes er in totaal worden uitgezonden bij het stapsgewijze verval van een uranium-238 kern tot een lood-206 kern.
- $238 - 206 = 32 \rightarrow$ het aantal nucleonen is met 32 verminderd 1
 - per α -deeltje verdwijnen er 4 nucleonen 1
 - er worden $\frac{32}{4} = 8$ α -deeltjes uitgezonden 1
- 5p **3** Bereken het dosisequivalent dat de persoon per jaar ontvangt alleen ten gevolge van de straling van radon-222.
- $E_{\text{deeltje}} = 5,486 \cdot 10^6 \text{ MeV} = 5,486 \cdot 10^6 \cdot 1,6022 \cdot 10^{-19} = 8,78967 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ 1
 - $P_{\text{bron}} = A \cdot E_{\text{deeltje}} \rightarrow P_{\text{bron}} = 4,0 \cdot 10^{-3} \cdot 29 \cdot 8,78967 \cdot 10^{-13} = 1,0196 \cdot 10^{-13} \text{ W}$ 1
 - $E_{\text{bron}} = P_{\text{bron}} \cdot t \rightarrow E_{\text{bron}} = 1,0196 \cdot 10^{-13} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 3,2154 \cdot 10^{-6} \text{ J}$ 1
 - $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m}$ met $E_{\text{abs}} = E_{\text{bron}} \rightarrow D = \frac{3,2154 \cdot 10^{-6}}{0,2} = 1,6077 \cdot 10^{-5} \text{ Gy}$ 1
 - $H = w_R \cdot D \rightarrow H = 20 \cdot 1,6077 \cdot 10^{-5} = 3,215 \cdot 10^{-4} \text{ Sv} = 0,32 \text{ mSv}$ 1

Hartfoto's

- 3p **1** Geef de vergelijking van dit β^- -verval.
- ${}_{19}^{43}\text{K} \rightarrow {}_{20}^{43}\text{Ca} + {}_{-1}^0\text{e} \quad (+\gamma)$
 - elektron rechts van de pijl 1
 - Ca als vervalproduct (mits verkregen via kloppende atoomnummers) 1
 - aantal nucleonen voor en na de pijl gelijk 1
- 5p **2** Bereken de stralingsdosis die het hart in deze periode van twee uur ontvangt ten gevolge van de β^- -straling.
- per seconde vinden er $1,2 \cdot 10^6$ vervalreacties plaats 1
 - energie per seconde: $1,2 \cdot 10^6 \cdot 830 \cdot 10^3 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 1,59577 \cdot 10^{-7} \text{ J}$ 1
 - in twee uur is dit $2 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 1,59577 \cdot 10^{-7} = 1,14896 \cdot 10^{-3} \text{ J}$ 1
 - door het hart wordt $0,8 \cdot 1,14896 \cdot 10^{-3} = 9,19164 \cdot 10^{-4} \text{ J}$ opgenomen 1
 - $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m} \rightarrow D = \frac{9,19164 \cdot 10^{-4}}{0,28} = 3,28273 \cdot 10^{-3} = 3,3 \cdot 10^{-3} \text{ Gy}$ 1

- 3p **3** Bereken dit percentage.
- 66 uur is 3 keer de halveringstijd 1
 - 100% → 50% → 25% → 12,5% (blijft er over) 1
 - percentage vervallen is $100 - 12,5 = 87,5 = 88\%$ 1
- 4p **4** Noem één voordeel en één nadeel van het gebruik van de TI-isotoop ten opzichte van de K-isotoop. Geef zowel bij het voordeel als bij het nadeel een toelichting.
- voordeel: TI zendt geen β -straling uit 1
zodat er minder stralingsbelasting is 1
 - nadeel: TI heeft een langere halveringstijd 1
zodat de patiënt langer blootstaat aan straling 1

Stralingsbescherming (aangepast)

- 2p **1** 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 1
 - de α -straling is al geabsorbeerd voordat het de badge bereikt 1
- 3p **2** Geef de vervalreactie van Cs-137.
- ${}^{137}_{55}\text{Cs} \rightarrow {}^0_{-1}\beta + {}^{137}_{56}\text{Ba} + {}^0_0\gamma$
 - elektron rechts van de pijl 1
 - Ba als vervalproduct (mits verkregen via kloppende atoomnummers) 1
 - aantal nucleonen voor en na de reactiepijl gelijk 1
- 2p **3** Leg uit welke van deze drie stoffen het best gebruikt kan worden om de badges te testen.
- Sr-90 is het beste omdat het van de drie stoffen de enige is die alleen β -straling uitzendt 2
- 4p **4** Bereken hoeveel procent van de straling door het loodschoort wordt tegengehouden.
- opzoeken $d_{1/2}$ van lood bij röntgenstraling van 0,10 MeV is 0,0106 cm 1
 - $\frac{0,053}{0,0106} = 5$ 1
 - $\left(\frac{1}{2}\right)^5 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{32} \rightarrow 100 \cdot \frac{1}{32} = 3,125\%$ wordt doorgelaten 1
 - $100 - 3,125 = 96,875 = 97\%$ wordt tegengehouden 1
- 4p **5** Bereken de stralingsdosis die de spiermassa ontvangt.
- $E_{\text{bron}} = P \cdot t \rightarrow E_{\text{bron}} = 0,15 \cdot 10^{-6} \cdot 25 = 3,75 \cdot 10^{-6} \text{ J}$ 1
 - $E_{\text{abs}} = 0,73 \cdot E_{\text{bron}} \rightarrow E_{\text{abs}} = 0,73 \cdot 3,75 \cdot 10^{-6} = 2,7375 \cdot 10^{-6} \text{ J}$ 1
 - gebruik $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m}$ 1
 - $D = \frac{2,7375 \cdot 10^{-6}}{12} = 2,28125 \cdot 10^{-7} = 2,3 \cdot 10^{-7} \text{ Gy}$ 1

Castor container

- 3p **1** Geef voor elk van de drie soorten straling (α , β , γ) aan of deze wel of niet bijdraagt aan de stralingsbelasting buiten de Castor-container.
- α -straling kan niet door de wand heen \rightarrow geen bijdrage 1
 - β -straling kan niet door de wand heen \rightarrow geen bijdrage 1
 - γ -straling kan wel door de wand heen \rightarrow wel een bijdrage 1
- 3p **2** Bereken met welke factor de stralingsbelasting zou toenemen als een container een wanddikte van 30 cm in plaats van 50 cm zou hebben.
- de wand wordt $20 \text{ cm} = 8 \cdot 2,5 \text{ cm} = 8 \cdot d_{\frac{1}{2}}$ dunner 1
 - de stralingsbelasting wordt hierdoor 2^8 keer zo groot 1
 - $2^8 = 256 \rightarrow$ de stralingsbelasting wordt $2,6 \cdot 10^2$ keer zo groot 1
- 3p **3** Leg uit waarom men niet de goedkopere maar de duurdere manier van bewaken gekozen heeft. Uit je antwoord moet blijken dat je tabel 27D2 van Binas hebt gebruikt.
- de agenten in de (langzaam rijdende) trein worden vele uren bestraald 1
 - de maximaal toelaatbare dosisequivalent van 1 mSv per jaar wordt al na 5 uur overschreden 1
 - agenten langs de spoorlijn worden slechts kort bestraald en staan op grotere afstand van de bron en ontvangen dus een kleinere dosisequivalent 1
- 3p **4** Bereken hoeveel warmte, in joule, per seconde in de container wordt ontwikkeld.
- er zijn $4,4 \cdot 10^{17}$ vervalreacties per seconde 1
 - per vervalreactie komt $0,78 \cdot 10^6 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 1,2497 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ vrij 1
 - warmte per seconde: $4,4 \cdot 10^{17} \cdot 1,2497 \cdot 10^{-13} = 5,49868 \cdot 10^4 = 5,5 \cdot 10^4 \text{ J}$ 1

Energie voor verre reizen (aangepast)

- 3p **1** Schrijf de vergelijking van deze vervalreactie op.
- ${}_{93}^{238}\text{Np} \rightarrow {}_{-1}^0\beta + {}_{94}^{238}\text{Pu}$
 - ${}_{-1}^0\beta$ rechts van de pijl 1
 - ${}_{93}^{238}\text{Np}$ links van de pijl 1
 - aantal nucleonen voor en na de pijl gelijk 1
- 3p **2** Leg uit waarom dit niet hoeft.
- de dochterkern van ${}_{94}^{238}\text{Pu}$ is ${}_{92}^{234}\text{U}$ en heeft een halveringstijd van $2,4 \cdot 10^5$ jaar 1
 - de halveringstijd van ${}_{92}^{234}\text{U}$ is veel groter dan die van ${}_{94}^{238}\text{Pu}$ 1
 - de activiteit van ${}_{92}^{234}\text{U}$ is verwaarloosbaar ten opzichte van die van ${}_{94}^{238}\text{Pu}$ 1
- 4p **3** Bereken het nuttig vermogen van de generator 8,0 jaar na het begin van de vlucht.
- gebruik $A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$ met $A_0 = 2,1 \cdot 10^{16} \text{ Bq}$ 1

- $A = 2,1 \cdot 10^{16} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{8,0}{88}} \rightarrow A = 1,97175 \cdot 10^{16} \text{ Bq}$ 1
 - $P = A \cdot E_{\text{deeltje}} \rightarrow 1,97175 \cdot 10^{16} \cdot 5,6 \cdot 10^6 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 1,7691 \cdot 10^4 \text{ W}$ 1
 - nuttig vermogen is $0,034 \cdot 1,7691 \cdot 10^4 = 6,01494 \cdot 10^2 = 6,0 \cdot 10^2 \text{ W}$ 1
- 4p **4** Bereken het aantal plutonium-238 atomen dat in een periode van 50 jaar volgens NASA bij de longblaasjes van een volwassene zou zijn vervallen.
- gebruik $H = w_R \cdot D$ met $w_R = 20$ en $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m}$ 1
 - $E_{\text{abs}} = D \cdot m = \frac{H}{w_R} \cdot m \rightarrow E_{\text{abs}} = \frac{1,0 \cdot 10^{-5}}{20} \cdot 0,075 = 3,75 \cdot 10^{-8} \text{ J}$ 1
 - energie per α -deeltje $5,6 \text{ MeV} = 5,6 \cdot 10^6 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 8,97221 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ 1
 - aantal vervallen α -deeltjes $\frac{3,75 \cdot 10^{-8}}{8,97221 \cdot 10^{-13}} = 4,17957 \cdot 10^4 = 4,2 \cdot 10^4$ deeltjes
- 4p **5** Leg aan de hand van twee verschillen tussen het α -verval van plutonium-238 en plutonium-239 uit welke van deze twee personen de grootste stralingsbelasting ten gevolge van α -straling ondervindt.
- de halveringstijd van ${}^{238}_{94}\text{Pu}$ is 88 jaar en van ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ is $2,4 \cdot 10^4$ jaar 1
 - bij hetzelfde aantal kernen heeft ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ een veel kleinere activiteit 1
 - voor ${}^{238}_{94}\text{Pu}$ is de energie van het uitgezonden α -deeltjes 5,6 MeV en voor ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ is de energie van het uitgezonden α -deeltjes 5,2 MeV 1
 - ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ geeft een kleinere stralingsbelasting 1

Rookmelder

- 3p **1** Geef de vervalvergelijking van americium-241.
- ${}^{241}_{95}\text{Am} \rightarrow {}^4_2\alpha + {}^{237}_{93}\text{Np} + {}^0_0\gamma$ 1
 - ${}^4_2\alpha$ rechts van de pijl 1
 - ${}^{237}_{93}\text{Np}$ als vervalproduct 1
 - aantal nucleonen voor en na de pijl gelijk 1
- 4p **2** Bereken de massa van het americium-241 dat in de rookmelder mag zitten om binnen de wettelijke grens te blijven.
- $t_{1/2} = 432 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 1,36236 \cdot 10^{10} \text{ s}$ 1
 - gebruik $A = \frac{0,693}{t_{1/2}} \cdot N$ 1
 - $37 \cdot 10^3 = \frac{0,693}{1,36236 \cdot 10^{10}} \cdot N \rightarrow N = 7,27378 \cdot 10^{14}$ 1
 - $m = N \cdot m_{\text{atoom}} \rightarrow m = 7,27378 \cdot 10^{14} \cdot 4,00 \cdot 10^{-25} = 2,9 \cdot 10^{-10} \text{ kg}$ 1

- 4p **3** Bereken de snelheid van zo'n α -deeltje.
- $5,6 \text{ MeV} = 5,6 \cdot 10^6 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 8,9722 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ 1
 - $m_\alpha = m_{\text{He}} = 4,0026 \text{ u} = 4,0026 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} = 6,64648 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ 1
 - gebruik $E_K = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ 1
 - $8,9722 \cdot 10^{-13} = \frac{1}{2} \cdot 6,64648 \cdot 10^{-27} \cdot v^2 \rightarrow v = 1,64312 \cdot 10^7 = 1,6 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ 1
- 2p **4** Noem twee oorzaken waarom niet alle α -deeltjes in de ionisatiekamer terechtkomen.
- een deel van de α -deeltjes beweegt niet in de richting van de ionisatiekamer 1
 - een deel van de α -deeltjes is al voor de ionisatiekamer geabsorbeerd 1
- 4p **5** Bereken de stroomsterkte I. Bereken daartoe eerst het aantal elektronen dat per seconde in de ionisatiekamer uit moleculen wordt vrijgemaakt.
- één α -deeltje absorbeert $\frac{5,6 \cdot 10^6}{34} = 1,647 \cdot 10^5$ moleculen 1
 - per seconde worden $5,0 \cdot 10^3 \cdot 1,647 \cdot 10^5 = 8,23529 \cdot 10^8$ elektronen vrijgemaakt 1
 - inzicht: stroomsterkte gelijk is aan het aantal elektronen per seconde keer de lading van het elektron 1
 - $8,23529 \cdot 10^8 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 1,31944 \cdot 10^{-10} = 1,3 \cdot 10^{-10} \text{ A}$ 1

Technetium-99

- 4p **1** Bereken hoeveel procent van een bepaalde hoeveelheid technetium-99 over is na 1,05 miljoen jaar.
- opzoeken $t_{\frac{1}{2}} = 2,1 \cdot 10^5$ jaar 1
 - in 1,05 miljoen jaar zitten $\frac{1,05 \cdot 10^6}{2,1 \cdot 10^5} = 5,0$ halveringstijden 1
 - gebruik % aanwezig = $100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n$ met $n = 5$ 1
 - $100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^5 = 3,125 \rightarrow$ er is nog 3,1% technetium-99 over 1
- 2p **2** Hoeveel neutronen bevat een technetium-100-kern? Licht je antwoord toe.
- een Tc-100 kern bevat 100 nucleonen en 43 protonen 1
 - een Tc-100 kern bevat $100 - 43 = 57$ neutronen 1
- 3p **3** Leg uit welke pijl.
- door β^- verval neemt het aantal protonen in de kern met één toe 1
 - het aantal nucleonen blijft gelijk 1
 - pijl c geeft het gevraagde verval aan 1
- OOK GOED**
- vervalreactie ${}^{100}_{43}\text{Te} \rightarrow {}^0_{-1}\beta + {}^{100}_{44}\text{Ru}$ 1
 - het aantal nucleonen voor en na de pijl gelijk 1
 - pijl c geeft het gevraagde verval aan 1

- 2p **4** Bepaal uit figuur 2 de halveringstijd van technetium-100.
- na één halveringstijd is de activiteit met een factor 2 gedaald 1
 - tijd aflezen bij $A = 8,0 \cdot 10^4$ Bq $\rightarrow t_{1/2} = 15,5$ s (marge 0,5 s) 1
- 4p **5** Bepaal met behulp van figuur 2 het aantal kernen dat tussen 0 s en 10 s is vervallen.
- aantal vervallen kernen is gelijk aan de oppervlakte onder de grafiek 1
 - hokjes tellen \rightarrow tussen 0 en 10 s liggen 26 hokjes 1
 - de oppervlakte van 1 hokje komt overeen met $5 \cdot 1 \cdot 10^4 = 5 \cdot 10^4$ kernen 1
 - $26 \cdot 5 \cdot 10^4 = 1,3 \cdot 10^6$ kernen (marge $0,1 \cdot 10^6$ kernen) 1
- OOK GOED**
- aantal vervallen kernen is gelijk aan de oppervlakte onder de grafiek 1
 - de gemiddelde activiteit tussen $t = 0$ en $t = 10$ s is $13 \cdot 10^4$ Bq 1
 - $13 \cdot 10^4 \cdot 10 = 1,3 \cdot 10^6$ Bq (marge $0,1 \cdot 10^6$ kernen) 2
- 2p **6** Geef twee argumenten voor je besluit aan de hand van de informatie in deze opgave.
- het Tc-99 hoeft dan niet eeuwenlang te worden opgeslagen want Tc-100 vervalt veel sneller dan Tc-99 1
 - het vervalproduct van Tc-100 is niet radioactief en dat van Tc-99 wel 1

Radioactieve slok

- 3p **1** Geef de vervalreactie van I-131.
- ${}_{53}^{131}\text{I} \rightarrow {}_{-1}^0\beta^- + {}_{54}^{131}\text{Xe} + {}_0^0\gamma$
 - elektron (β^- -deeltje) rechts van de pijl 1
 - Xe als eindproduct (mits verkregen via kloppende atoomnummers) 1
 - aantal kerndeeltjes voor en na de pijl gelijk 1
- 2p **2** Leg uit welke straling, de β -straling of de γ -straling, vooral verantwoordelijk is voor die beschadiging.
- de dracht van β -deeltjes is kleiner dan die van γ -straling 1
 - schildklierzellen zullen meer β -straling dan γ -straling absorberen 1
- 2p **3** Leg uit waarom niet.
- een deel van de γ -straling komt buiten het lichaam 1
 - deze straling is schadelijk voor een baby op schoot 1
- 2p **4** Leg uit hoe dit uit de grafiek blijkt.
- op $t = 20$ d neemt de dosis minder snel toe dan op $t = 2$ d 1
 - op $t = 20$ dagen wordt er per seconde minder straling uitgezonden en is de activiteit dus kleiner dan op $t = 2$ d 1
- 3p **5** Leg met behulp van figuur 1 uit dat de effectieve halveringstijd van I-131 zes dagen is.
- na 6 dagen is de dosis 60 Gy, na 12 dagen 90 Gy, na 18 dagen 105 Gy, enz. 1
 - na 6 dagen wordt de toename van de dosis gehalveerd 1

- na 6 dagen moet de activiteit ook zijn gehalveerd 1
- 5p **6** Bereken de activiteit van het I-131 in de periode die in figuur 2 is weergegeven. Bepaal daartoe eerst de hoeveelheid stralingsenergie die de schildklier per uur absorbeert.
- de toename van de dosis per uur is $D_{\text{per uur}} = \frac{E_{\text{abs-per uur}}}{m}$ 1
 - toename van de dosis per uur is de steilheid van de grafiek 1
 - $E_{\text{abs-per uur}} = D_{\text{per uur}} \cdot m \rightarrow E_{\text{abs-per uur}} = \frac{4,5}{8} \cdot 0,045 = 2,53125 \cdot 10^{-2} \text{ J}$ 1
 - $E_{\text{abs}} = A \cdot E_{\text{deeltje}} \cdot t \rightarrow E_{\text{abs-per uur}} = A \cdot 3,0 \cdot 10^{-14} \cdot 60 \cdot 60$ 1
 - $2,53125 \cdot 10^{-2} = A \cdot 3,0 \cdot 10^{-14} \cdot 60 \cdot 60 \rightarrow A = 2,34375 \cdot 10^8 = 2,3 \cdot 10^8 \text{ Bq}$ 1
(marge $0,1 \cdot 10^8 \text{ Bq}$)

Doorstralen van fruit

- 3p **1** Geef de vervalreactie van ^{60}Co (kobalt-60)
- $^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow ^0_{-1}\beta^- + ^{60}_{28}\text{Ni} + ^0_0\gamma$
 - elektron (β^- -deeltje) rechts van de pijl 1
 - Ni als eindproduct (mits verkregen via kloppende atoomnummers) 1
 - aantal kerndeeltjes voor en na de pijl gelijk 1
- 1p **2** Geef daarvoor de reden.
- de dracht van β^- -straling is klein \rightarrow alleen de bovenste laag absorbeert straling 1
- 2p **3** Bepaal de halveringsdikte van fruit voor de γ -straling van kobalt.
- inzicht: bij de halveringsdikte wordt 50% van de straling doorgelaten 1
 - aflezen: deze dikte is 12 cm 1
- 3p **4** Bereken na hoeveel jaar de bron vervangen moet worden.
- opzoeken: $t_{1/2} = 5,27$ jaar 1
 - inzicht: na drie keer de halveringstijd is er nog 12,5% activiteit over 1
 - $3 \cdot 5,27 = 15,81 = 15,8$ jaar 1
- 2p **5** Beantwoord deze vraag. Licht je antwoord toe.
- inzicht dat atoomkernen niet veranderen bij het absorberen van γ -straling 1
 - het bestraalde voedsel wordt niet radioactief 1

Tsjernobyl, ruim 20 jaar later

- 3p **1** Geef de reactievergelijking van deze kernreactie. (Niet alle isotopen in deze reactie staan in Binas.)
- $$^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{137}_{55}\text{Cs} + ^{95}_{37}\text{Rb} + 4^1_0\text{n}$$
- één neutron links en vier neutronen rechts van de pijl 1
 - Cs en Rb als splijttingsproducten (mits verkregen via kloppende atoomnummers) 1
 - aantal kerndeeltjes voor en na de pijl gelijk 1

- 3p **2** Bereken welk percentage van het vrijgekomen Cs-137 in dit gebied terecht kwam.
- $A_{\text{gebied}} = A_{\text{per m}^2} \cdot m^2 \rightarrow A = 2,0 \cdot 10^6 \cdot 3,0 \cdot 10^3 \cdot 10^6 = 6,0 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$ 1
 - inzicht: $\text{percentage} = \frac{A_{\text{in het gebied}}}{A_{\text{totaal}}} \cdot 100\%$ 1
 - $\text{percentage} = \frac{6,0 \cdot 10^{15}}{85 \cdot 10^{15}} \cdot 100\% = 7,0588 = 7,1\%$ 1
- 1p **3** Geef daarvan de reden.
- het doordringend vermogen van γ -straling is veel groter dan dat van β -straling 1
- 4p **4** Bereken hoeveel dagen deze persoon maximaal in het gebied mag blijven zonder de dosislimiet per jaar te overschrijden voor individuele leden van de bevolking.
- opzoeken: dosislimiet is $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Sv}$ 1
 - $H = W_R \cdot \frac{E_{\text{abs}}}{m} \rightarrow 1,0 \cdot 10^{-3} = \frac{E_{\text{abs max}}}{75} \rightarrow E_{\text{abs max}} = 7,5 \cdot 10^{-2} \text{ J}$ 1
 - $t_{\text{max}} = \frac{E_{\text{abs max}}}{E_{\text{abs per sec onde}}} \rightarrow t_{\text{max}} = \frac{7,5 \cdot 10^{-2}}{2,4 \cdot 10^5 \cdot 1,06 \cdot 10^{-13}} = 2,94811 \cdot 10^6 \text{ s}$ 1
 - $t_{\text{max}} = \frac{2,94811 \cdot 10^6}{24 \cdot 60 \cdot 60} = 34,1217 = 34 \text{ dagen}$ 1
- 3p **5** Bereken de activiteit per m^2 van het Cs-137 in het gebied over 90 jaar. Zoek daartoe de halveringstijd van Cs-137 op en neem aan dat de activiteit ervan alleen afneemt ten gevolge van radioactief verval.
- opzoeken: halveringstijd Cs-137 = 30 jaar 1
 - gebruik: $A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n$ met $n = 3$ 1
 - $A = 1,2 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^3 \rightarrow A = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Bq/m}^2$ 1
- 2p **6** Beantwoord de volgende twee vragen vanuit het oogpunt van stralingsbescherming:
- Wat is het bezwaar tegen het verbranden van de bomen?
 - Waarom is het begraven van de bomen onder een laag zand effectief?
 - bij het verbranden van bomen komen radioactieve stoffen in de lucht 1
 - door de laag zand wordt de intensiteit van de straling afgezwakt 1

Koolstof-14-methode (aangepast)

- 3p **1** Beantwoord de volgende vragen met JA of NEE.
- Is er een verschil in aantal protonen? **NEE** $\frac{1}{2}$
 - Is er een verschil in aantal elektronen? **NEE** $\frac{1}{2}$
 - Is er een verschil in aantal neutronen? **JA** $\frac{1}{2}$
 - Is er een verschil in massa? **JA** $\frac{1}{2}$
 - Is er een verschil in halveringstijd? **JA** 1
- 3p **2** Geef de vervalvergelijking van het radioactieve verval van C-14.
- $${}^1_6\text{C} \rightarrow {}^1_7\text{N} + {}^0_{-1}\beta^-$$

- bètadeeltje rechts van de pijl 1
 - N als vervalproduct rechts van de pijl via kloppende atoomnummers 1
 - aantal nucleonen links en rechts gelijk 1
- 2p **3** Welk deeltje komt er bij dit proces vrij? Licht je antwoord toe door de reactievergelijking compleet te maken.
- $${}^{14}_7\text{N} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{14}_6\text{C} + {}^1_1\text{p}$$
- aantal nucleonen links en rechts gelijk 1
 - proton rechts van de pijl via kloppende atoomnummers 1
- 2p **4** Hoe oud is de schedel? Licht je antwoord toe.
- inzicht dat er twee halveringstijden van ${}^{14}\text{C}$ zijn verstreken 1
 - opzoeken $t_{1/2} = 5730$ jaar \rightarrow de schedel is 11460 jaar oud 1
- 2p **5** Hoeveel procent van de oorspronkelijke hoeveelheid koolstof-14 is er dan nog over? Geef je antwoord in twee significante cijfers.
- gebruik $N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n$ met $n = 10$ 1
 - completeren $N = 100\% \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{10} = 9,8 \cdot 10^{-2} \%$ 1

Samarium-153

- 1p **1** Met welk deeltje moet een samarium-152-kern beschoten worden om samarium-153 te vormen? Kies A, B, C, D of E.
A alfadeeltje | **B** bètadeeltje | **C** gammafoton | **D** neutron | **E** proton
- antwoord D
 - Want het aantal protonen blijf gelijk en het massagetal neemt met één toe.
- 4p **2** Geef de vervalreactie van samarium-153.
- $${}^{153}_{62}\text{Sm} \rightarrow {}^{153}_{63}\text{Eu} + {}^0_{-1}\beta^- + {}^0_0\gamma$$
- het atoomnummer van samarium is 62 1
 - elektron en gammafoton rechts van de pijl 1
 - Eu als vervalproduct via kloppende atoomnummers 1
 - aantal nucleonen links en rechts gelijk 1
- 1p **3** Welk soort straling wordt gebruikt om een scan te maken en van welke eigenschap van die straling wordt dan gebruikgemaakt? Kies A, B, C, of D.
- A β^- -straling, want deze straling heeft een klein doordringend vermogen
 B β^- -straling, want deze straling heeft een groot doordringend vermogen
 C γ -straling, want deze straling heeft een klein doordringend vermogen
 D γ -straling, want deze straling heeft een groot doordringend vermogen
- antwoord D 1

Bij een scan moet de straling het lichaam verlaten en de dracht van β^- -straling in het lichaam is hiervoor te klein (enkele centimeters).

- 2p **4** Bepaal met behulp van figuur 3 de halveringstijd van samarium-153.
- inzicht dat de tijd moet worden afgelezen bij $A = 3000 / 2 = 1500$ MBq 1
 - de halveringstijd is 2,0 dagen (marge 0,1 dag) 1
- 3p **5** Bepaal hoeveel milliliter van het medicijn ingespoten moet worden.
- op 4 juni om 9.00 uur is de activiteit van het flesje 2100 MBq (marge 50 MBq) 1
 - er moet $30 \cdot 37 = 1110$ MBq worden geïnjecteerd 1
 - het volume dat moet worden ingespoten is $\frac{1110}{2100} \cdot 15 = 7,9$ ml 1
- 4p **6** Bereken hoeveel β^- -deeltjes door het geïnfecteerde bot tijdens de behandeling worden geabsorbeerd.
- $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m} \rightarrow 86,5 = \frac{E_{\text{abs}}}{10 \cdot 10^{-3}} \rightarrow E_{\text{abs}} = 0,865$ J 1
 - $E_{\text{deeltje}} = 233 \cdot 10^3 \text{ eV} = 233 \cdot 10^3 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 3,73308 \cdot 10^{-14}$ J 1
 - inzicht dat het aantal geabsorbeerde deeltjes gelijk is aan $\frac{E_{\text{abs}}}{E_{\text{deeltje}}}$ 1
 - completeren $n = \frac{0,865}{3,73308 \cdot 10^{-14}} = 2,31712 \cdot 10^{13} = 2,3 \cdot 10^{13}$ deeltjes 1
- 2p **7** Bereken hoeveel procent van de activiteit van het samarium in de opgevangen urine er na die tijd nog over was. Geef je antwoord in twee significante cijfers.
- gebruik $N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n$ met $n = 8$ 1
 - completeren $N = 100\% \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^8 = 0,39\%$ 1

Lutetium-177 (aangepast)

- 3p **1** Geef de vergelijking van de vervalreactie van Lu-177.
- $${}_{71}^{177}\text{Lu} \rightarrow {}_{72}^{177}\text{Hf} + {}_{-1}^0\beta^- + {}_0^0\gamma$$
- elektron en gammafoton rechts van de pijl 1
 - Hf als vervalproduct via kloppende atoomnummers 1
 - aantal nucleonen links en rechts gelijk 1
- 1p **2** Welk soort straling is dit? Kies A, B, C of D.
- A** α | **B** β | **C** β^- en γ | **D** γ
- antwoord D 1
- Bij een scan moet de straling het lichaam verlaten en de dracht van β^- -straling in het lichaam is hiervoor te klein (enkele centimeters).
- 4p **3** Bereken de golflengte van deze straling.
- omrekenen $440 \text{ keV} = 440 \cdot 10^3 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 7,04959 \cdot 10^{-14}$ J 1
 - opzoeken h en c 1
 - $E_f = h \cdot f \rightarrow 7,04959 \cdot 10^{-14} = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot f \rightarrow f = 1,0639 \cdot 10^{20}$ Hz 1

- $c = f \cdot \lambda \rightarrow 2,9979 \cdot 10^8 = 1,0639 \cdot 10^{20} \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 2,81781 \cdot 10^{-12} = 2,82 \cdot 10^{-12} \text{ m}$ 1

3p **4** Beredeneer na hoeveel dagen de eerstvolgende afspraak dan op zijn vroegst kan plaatsvinden.

- inzicht dat $\left(\frac{1}{2}\right)^n$ kleiner moet zijn dan 0,001 1

- $\left(\frac{1}{2}\right)^{10} = 0,00098$ dus na 10 keer de halveringstijd moet de patiënt terugkomen 1

- $10 \cdot 6,7 = 67$ dagen \rightarrow de patiënt moet na 67 dagen terugkomen 1

Radioactieve rook

2p **1** Leg dat uit met behulp van de halveringstijden uit de vervalreeks.

- het verval tot aan Pb-210 gaat snel omdat de halveringstijden kort zijn 1

- het Pb-210 hoopt zich op omdat het langzaam vervalst door de lange halveringstijd 1

3p **2** Bereken het percentage van de massa van de tabak dat bestaat uit Po-210.

- de Po-210 atomen wegen samen $2 \cdot 10^5 \cdot 210 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} = 6,974 \cdot 10^{-20} \text{ kg}$ 1

- inzicht dat gevraagd wordt $\frac{\text{massa Po - 220 atomen}}{\text{totale massa}}$ 1

- $\frac{6,974 \cdot 10^{-20}}{0,90 \cdot 10^{-3}} \cdot 100\% = 7,749 \cdot 10^{-15} = 8 \cdot 10^{-15} \%$ 1

3p **3** Leg met behulp van de formules voor iedere gegeven reden uit waarom het inademen van rook met Po-210 zo gevaarlijk is.

- α -straling heeft een grote weegfactor ($w_R = 20$) 1

- door het concentreren op hotspots neemt de bestraalde massa af 1

- door het vastplakken neemt de tijd waarin het weefsel bestraald wordt toe 1