

14 Kernfysica

vwo

14.1 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 ${}^7\text{Li}$?
- 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** Zoek het atoomnummer van Pu op in Binas.
- atoomnummer 94
- b** Leg uit hoeveel protonen er in een Pu kern zitten.
- atoomnummer 94 dus er zijn 94 protonen
- c** Bereken de lading van een Pu kern.
- $94 \cdot e = 94 \cdot 1,6022 \cdot 10^{-19} = 1,506 \cdot 10^{-17} \text{ C}$
- 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 → $244 - 94 = 150$ neutronen
- f 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

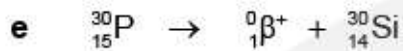
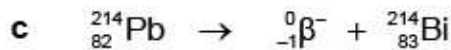
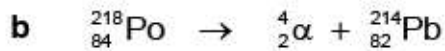
- 5***
- a Zoek het atoomnummer van zuurstof op.
 - atoomnummer 8
 - b Zoek op hoeveel isotopen zuurstof heeft.
 - zuurstof heeft 5 isotopen (massagetal 15, 16, 17, 18 en 19)
 - c Welke isotopen van zuurstof komen voor op aarde?
 - de isotopen met massagetal 16, 17 en 18 komen op aarde voor
 - d Welke zuurstofisotoop komt het meest voor op aarde?
 - atoommassa 16 komt het meeste voor (99,76%)
 - e Bereken van het ^{18}O isotoop het aantal neutronen in de kern.
 - atoomnummer is 8 en atoommassa is 18 → $18 - 8 = 10$ neutronen
 - f Geef het symbool van dit isotoop in drie verschillende notaties.
 - $^{18}_8\text{O}$ | ^{18}O | $\text{O}-18$
 - g Geef de reactievergelijking van het verval van het ^{15}O isotoop.
 - $^{15}_8\text{O} \rightarrow {}^0_1\beta^+ + {}^{15}_7\text{N}$
 - h Geef de reactievergelijking van het verval van het ^{19}O isotoop.
 - $^{19}_8\text{O} \rightarrow {}^0_{-1}\beta^- + {}^{19}_9\text{F}$

- 6****
- a** Leg uit tot welk element dit atoom behoort.
- 30 protonen → atoomnummer is 30 → 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 welke isotopen van dit element β^- straling uitzenden.
- ${}^{69}_{30}\text{Zn}$ zendt β^- straling uit
- e** Leg uit hoe je door de uitgezonden straling te meten erachter kunt komen met welk isotoop je te maken hebt.
- Zn-65 zendt β^+ straling uit en Zn-69 zendt β^- straling uit
 - door te meten of de 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 γ straling uitzenden.
- ${}^{65}_{30}\text{Zn}$ zendt γ -straling uit (fotonen)

- 7****
- a** Zoek van ieder isotoop op welke straling hij uitzendt.
- ${}^{237}_{93}\text{Np}$ zendt α -straling uit
 - ${}^{239}_{93}\text{Np}$ zendt β^- -straling uit
- b** Stel voor het verval van beide isotopen de reactievergelijking op.
- ${}^{237}_{93}\text{Np} \rightarrow {}^4_2\alpha + {}^{233}_{91}\text{Pa}$
 - ${}^{239}_{93}\text{Np} \rightarrow {}^0_{-1}\beta + {}^{239}_{94}\text{Pu}$

- 8****
- 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)

- 9*****
- a** ${}^{222}_{86}\text{Ra} \rightarrow 4 {}^4_2\alpha + {}^{218}_{84}\text{Po}$



10*** **a** Bereken hoeveel verschillende soorten Cl_2 moleculen er bestaan.

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

b Bereken de moleculemassa's van deze verschillende moleculen.

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

c Leg dit uit.

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

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

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

b Bereken de gemiddelde atoommassa van koper.

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

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

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

12****

- a** Leg uit wat een isomeer is.
- een 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.
- ${}_{35}^{81}\text{Br} \rightarrow {}_{-1}^0\beta^- + {}_{36}^{81}\text{Kr}$
 - ${}_{35}^{81}\text{Br}$ is niet radioactief \rightarrow de reactie verloopt niet spontaan
- c** Leg uit dat krypton-81m ook niet kan ontstaan uit β^+ verval.
- ${}_{37}^{81}\text{Rb} \rightarrow {}_{1}^0\beta^+ + {}_{36}^{81}\text{Kr}$
 - het ${}_{37}^{81}\text{Rb}$ is een β^- -straler en niet een β^+ -straler \rightarrow de reactie zal niet spontaan verlopen
- d** Geef de vervalvergelijking van krypton-81m.
- ${}_{36}^{81\text{m}}\text{Kr} \rightarrow {}_{36}^{81}\text{Kr} + {}_{0}^0\gamma$

13****

- a** Bepaal de richting van het magnetisch veld.
- β^- -deeltjes worden met verschillende snelheid uitgezonden
 - de A bundel zijn de β^- -deeltjes
 - linkerhandregel met $F_L = F_{\text{mpz}}$
 - B-veld komt het papier uit (geef aan met stippen)
- b** Leg uit of de snelheid van de deeltjes die de plaat bij A_1 treffen groter, kleiner of gelijk is aan de snelheid van de deeltjes die bij A_2 aankomen.
- $F_L = F_{\text{mpz}} \rightarrow B \cdot q \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r} \rightarrow r = \frac{m \cdot v}{B \cdot q}$
 - A_1 heeft kleinste staal
 - m , B en q zijn voor deeltjes bij A_1 en A_2 hetzelfde
 - $r = \text{klein} \leftrightarrow v = \text{klein}$
 - deeltjes bij A_1 hebben de kleinste v
- c** Leg uit of de lorentzkracht op de deeltjes die de plaat bij A_1 treffen groter, kleiner of gelijk is aan de lorentzkracht op de deeltjes die bij A_2 aankomen.
- $r = \text{klein} \leftrightarrow v = \text{klein}$
 - $F_L = B \cdot q \cdot v \rightarrow v = \text{klein} \rightarrow F_L = \text{klein}$
 - deeltjes bij A_1 hebben de kleinste F_L
- d** Leg uit waar de α -straling de plaat treft.
- α -straling treft de plaat bij C
- e** Leg uit waar de γ -straling de plaat treft.
- γ -straling treft de plaat bij B

f Bereken de verhouding van de snelheden van de deeltjes die bij A aankomen en die bij C aankomen.

- $F_L = F_{mpz} \rightarrow B \cdot q \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r} \rightarrow r = \frac{m \cdot v}{B \cdot q} \rightarrow v = \frac{B \cdot q \cdot r}{m}$
- α -deeltjes komen bij C en β -deeltjes komen bij A
- α -deeltjes: $q = 2$ keer zo groot ; $m = 4 \cdot 1822,3 = 7289$ keer zo groot
- $r = 2$ keer zo groot, \rightarrow
- de β -deeltjes bij A hebben een $\frac{7276,3}{4} = 1819$ keer zo grote snelheid als de α -deeltjes bij C

g Wat kun je zeggen van de snelheid van de deeltjes die bij B aankomen?

- bij B komen γ -fotoen en die hebben altijd de lichtsnelheid ($c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$)

14**** a Geef in figuur 1 aan hoe de spanningsbron moet worden aangesloten om de chloorionen te versnellen.

- chloorionen zijn negatief
- A = - pool en B de + pool

b Leg uit waardoor dit wordt veroorzaakt.

- Cl heeft twee isotopen $^{35}_{17}\text{Cl}$ en $^{37}_{17}\text{Cl}$
- beide isotopen krijgen dezelfde negatieve lading
- F_{el} is voor beide isotopen hetzelfde
- $F_{el} = m \cdot a$
- $^{37}_{17}\text{Cl}$ heeft de grootste massa en krijgt dus de kleinste versnelling
- $^{37}_{17}\text{Cl}$ komt met lagere snelheid aan dan $^{35}_{17}\text{Cl}$

c Bereken de verhouding tussen de snelheden van de snelste en van de traagste chloorionen.

- $E_{el} = E_K$;
- E_{el} is voor beide isotopen hetzelfde
- $E_K(\text{Cl-35}) = E_K(\text{Cl-37})$
- $\frac{1}{2}m_1 \cdot v_1^2 = \frac{1}{2}m_2 \cdot v_2^2 \rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2^2}{v_1^2}$
- $\frac{35}{37} = \frac{v_2^2}{v_1^2} \rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{35}{37}} = 0,9726 = 0,97$

d Bereken hoeveel procent de variatie is tussen de snelheden.

- $100 - 97,26 = 2,74\%$

e Bepaal de richting van het magnetisch veld in figuur 1.

- negatieve lading \rightarrow snelheid omgekeerd
- $F_L = F_{mpz} \rightarrow$ lorentzkracht wijst naar middelpunt van de cirkelbaan

- linkerhandregel
- B-veld gaat papier in (geef aan met kruisjes)

f Leg uit waarom de ionen in het magnetisch veld een cirkelvormige baan beschrijven.

- B-veld is homogeen en v van de Cl^- ionen verandert niet
- $F_L = F_{\text{mpz}} \rightarrow$ cirkelbaan

g Bepaal de richting van de lorentzkracht in punt P

- F_L wijst naar het middelpunt van de cirkel

h Geef met een pijl de richting aan van de snelheid van de chloorionen in punt P.

- de snelheid is de richting van de raaklijn aan de baan bij punt P
- schuin naar beneden (zuidwest)

+ i Leid dit af.

$$\bullet F_L = F_{\text{mpz}} \rightarrow B \cdot q \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r} \rightarrow v = \frac{B \cdot q \cdot r}{m} \rightarrow v^2 = \left(\frac{B \cdot q \cdot r}{m} \right)^2$$

$$\bullet E_K = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \rightarrow E_K = \frac{1}{2} m \cdot \left(\frac{B \cdot q \cdot r}{m} \right)^2$$

$$\bullet E_K = E_{\text{el}} = q \cdot U \rightarrow q \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot \left(\frac{B \cdot q \cdot r}{m} \right)^2 \rightarrow q \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot \frac{B^2 \cdot q^2 \cdot r^2}{m^2}$$

$$\bullet r^2 = \frac{2 \cdot q \cdot U \cdot m}{B^2 \cdot q^2} = \frac{2 \cdot U}{B^2 \cdot q} \cdot m$$

$$\bullet r = \sqrt{\frac{2 \cdot U}{B^2 \cdot q}} \cdot \sqrt{m} \rightarrow r = k \cdot \sqrt{m} \quad \text{waarin } k = \sqrt{\frac{2 \cdot U_{\text{AB}}}{q \cdot B^2}}$$

j Laat met bovenstaande formules zien dat dit een juiste conclusie is.

$$\bullet r = k \cdot \sqrt{m} \quad \text{waarin } k = \sqrt{\frac{2 \cdot U_{\text{AB}}}{q \cdot B^2}}$$

• k is voor beide isotopen gelijk

$$\bullet \frac{r_1}{r_2} = \frac{\sqrt{m_1}}{\sqrt{m_2}} = \sqrt{\frac{m_1}{m_2}}$$

$$\bullet m_1 = \text{massa } {}^{37}_{17}\text{Cl} = 36,96590 \text{ u} \quad ; \quad m_2 = \text{massa } {}^{35}_{17}\text{Cl} = 34,96885 \text{ u}$$

$$\bullet \frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{36,96590}{34,96885}} = 1,028158$$

$$\bullet \frac{r_1}{r_2} = 1,028158 \rightarrow \text{klopt met de waarnemingen}$$

k Leg uit of de binnenste of de buitenste bundel de meeste intensiteit heeft.

- binnenste straal hoort bij Cl-35

- 75,5% van het natuurlijke CI is CI-35
- de binnenste bundel heeft de grootste intensiteit

I Bereken de afstand tussen C en D

- $\frac{r_1}{r_2} = 1,02817$ (r_1 hoort bij de grootste cirkel)
- $r_1 - r_2 = \frac{1}{2} \cdot 0,98 = 0,49 \text{ cm} \rightarrow r_1 = 0,49 + r_2$
- $\frac{0,49 + r_2}{r_2} = 1,028158$
- $0,49 + r_2 = 1,028158 \cdot r_2 \rightarrow 0,49 = 0,028158 \cdot r_2$
- $r_2 = 17,4018 = 17,4 \text{ cm}$
- de afstand tussen C en D is $2 \cdot r_2 = 34,8 \text{ cm}$

14.2 De snelheid van radioactief verval

Halveringstijd

- 1*
- a** Leg met eigen woorden uit wat de halveringstijd is.
- de halveringstijd is de tijd waarin de helft van het aantal aanwezige kernen verval
- b** Hoeveel procent van de radioactieve stof is er nog aanwezig na 1 dag.
- na 1 dag is nog $\frac{1}{2}$ aanwezig = 50%
- c** Hoeveel procent van de radioactieve stof is er nog aanwezig na 2 dagen.
- na 2 dagen is nog $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ aanwezig = 25%
- d** Hoeveel procent van de radioactieve 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%
- 2*
- 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
- 3*
- a** 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
- b** 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*)

- 4***
- a** Zoek de halveringstijd van P-30 op.
- opzoeken: $t_{\frac{1}{2}} = 2,50$ minuten
- b** Hoeveel kernen zijn er nog aanwezig na 5 minuten?
- 5 minuten is 2 keer de halveringstijd $\rightarrow 2000 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = 500$ kernen aanwezig
- c** Hoeveel kernen zijn er nog aanwezig na 10 minuten?
- 10 minuten is 4 keer de halveringstijd $\rightarrow 2000 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = 125$ aanwezig
- d** Hoeveel kernen zijn er in 10 minuten vervallen?
- in het begin zijn er 2000 kernen en na 10 minuten zijn er nog 125 aanwezig
 - in 10 minuten zijn er $2000 - 125 = 1875$ kernen vervallen

- 5****
- a** Zoek de halveringstijd van P-33 op.
- opzoeken: $t_{\frac{1}{2}} = 25,3$ dagen
- b** Na hoeveel tijd is de 75% van het gemaakte P-33 vervallen?
- er is nog 1/4 deel over
 - $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$
 - 2 keer de halveringstijd: $t = 2 \cdot 25,3 = 50,6$ dagen
- c** Na hoeveel tijd is van het gemaakte ^{33}P nog 12,5% over?
- 12,5% over \rightarrow 1/8 deel aanwezig
 - $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$
 - 3 keer de halveringstijd: $t = 3 \cdot 25,3 = 75,9$ dagen

- 6****
- a** Zoek de halveringstijd van C-14 op.
- opzoeken: $t_{\frac{1}{2}} = 5730$ jaar
- b** Hoe oud is de ploeg?
- er is nog 1/4 deel over
 - $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$
 - 2 keer de halveringstijd: $t = 2 \cdot 5730 = 11.460$ jaar

7** a Hoelang duurt het totdat de radioactiviteit in haar lichaam afkomstig van ^{131}I is gedaald tot 25% van de oorspronkelijke hoeveelheid?

- 25% van de oorspronkelijke hoeveelheid is $\frac{1}{4}$ deel

- $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$

- na 2 keer de halveringstijd is er 25% aanwezig
- opzoeken: $t_{\frac{1}{2}} = 8,0$ dagen
- $t = 2 \cdot 8 = 16$ dagen

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

- 93,75% verdwenen \rightarrow er is nog $100 - 93,75 = 6,25\%$ aanwezig

- 6,25% van de oorspronkelijke hoeveelheid is $\frac{1}{16}$ deel

- $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{16}$

- 4 keer de halveringstijd $\rightarrow t = 4 \cdot 8 = 32$ dagen

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

- 12,5% over = $\frac{1}{8}$ deel over

- $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$

- 3 keer de halveringstijd is 24 uur
- $3 \cdot t_{\frac{1}{2}} = 24 \rightarrow t_{\frac{1}{2}} = 8$ 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 $\frac{100}{4} = 25\%$

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

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

- $\frac{48}{8} = 6$

- 48 uur is 6 keer de halveringstijd

- $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{64}$

- $\frac{1}{64}$ deel is $\frac{100}{64} = 1,56\%$

- er is $100 - 1,56 = 98,4\%$ vervallen

9***

a Welke straling zendt deze isotoop uit?

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

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

- opzoeken: $t_{1/2} = 30$ jaar

- $\frac{150}{30} = 5$

- 150 jaar is 5 keer de halveringstijd

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

- $\frac{1}{32}$ deel is $\frac{100}{32} = 3,125\%$ → na 150 jaar is er nog 3,125% aanwezig

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

- $\frac{300}{30} = 10$

- 300 jaar is 10 keer de halveringstijd

- $\left(\frac{1}{2}\right)^{10} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{1024}$

- $\frac{1}{1024}$ deel is $\frac{100}{1024} = 0,0977\%$ na 300 jaar is er nog 0,0977% aanwezig

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

- $100\% \rightarrow 50\% \rightarrow 25\% \rightarrow 12,5\%$

- drie keer de halveringstijd $t_{1/2} = 30$ jaar

- $3 \cdot 30 = 90$ jaar → $1986 + 90 = 2076$

- 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?

- $100 / 1,5625\% = 64$

- er is nog 1/64 deel over

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

- na zes keer de halveringstijd is er 1/64 deel over

- $6 \cdot 30 = 180$ jaar

- na 180 jaar is er nog 1/64 deel van de cesium-137 kernen over

- $1986 + 180 = 2166$

- 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 nog 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 h zijn er $900 - 14 = 886$ kernen vervallen

11**

- a** Hoe groot is de halveringstijd?
- op $t=0$ is er 0,18 gram
 - na 23 uur is er 0,09 gram
 - de halveringstijd is 23 uur
- b** Na hoeveel tijd is er 3,125% van de oorspronkelijke hoeveelheid aanwezig?
- $100\% \rightarrow 50\% \rightarrow 25\% \rightarrow 12,5\% \rightarrow 6,25\% \rightarrow 3,125\%$
 - 3,125% is aanwezig na 5 keer de halveringstijd
 - $5 \cdot 23 = 115 \rightarrow$ na 115 uur is 3,125% aanwezig
- c** Hoeveel gram is er in deze tijd vervallen?
- 3,125% aanwezig $\rightarrow 100 - 3,125 = 96,875\%$ is vervallen
 - op $t=0$ is er 0,18 gram
 - $0,18 \cdot 0,96875 = 0,174$ 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** Hoe groot is de activiteit van dit brokje stof?
- 160 deeltjes per minuut is 26,7 deeltjes per seconde
 - $A = 26,6 \text{ Bq}$
- b** Wat is de halveringstijd van deze stof?
- er is nog 1/16 deel over
 - $\left(\frac{1}{2}\right)^4 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{16}$
 - na vier keer de halveringstijd is er 1/16 deel over
 - $4 \cdot t_{\frac{1}{2}} = 8 \text{ uur} \rightarrow t_{\frac{1}{2}} = 2 \text{ uur}$

- 14***
- a** Wordt de activiteit van het ^{239}Pu in een mensenleven merkbaar kleiner?
- opzoeken: $t_{\frac{1}{2}} = 24000 \text{ jaar}$
 - 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 24000 jaar

- 15****
- a** Leg uit of de halveringstijd van 2 gram ^{131}I groter, kleiner of gelijk is aan die van 1 gram ^{131}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 .
- $A = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} \cdot N$
 - de activiteit is recht evenredig met het aantal aanwezige kernen
 - 2 gram jood-131 heeft twee keer zoveel activiteit als 1 gram jood-131

16** a Bereken de halveringstijd.

- $12,5\% = \frac{12,5}{100} = \frac{1}{8}$
- $\left(\frac{1}{2}\right)^3 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$
- 24 uur = 3 keer de halveringstijd
- $t_{\frac{1}{2}} = \frac{24}{3} = 8$ uur

17** a Hoe lang geleden leefde deze Neanderthaler?

- opzoeken ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow t_{\frac{1}{2}} = 5730$ jaar
- 128 keer zo klein = $\frac{1}{128}$
- $\left(\frac{1}{2}\right)^7 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{128}$
- na 7 keer de halveringstijd is er 1/128 deel over
- $7 \cdot 5730 = 40.110 = 4,01 \cdot 10^4$ jaar

18*** a Wie van hen heeft gelijk? Isabel, Leonardo of geen van beide?

- 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

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

- een kwart van de oorspronkelijke hoeveelheid is 1 gram
- in 6 uur is 3 gram van de stof vervallen

b Bereken de halveringstijd van deze isotoop.

- een kwart van de oorspronkelijke hoeveelheid $\rightarrow \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$
- 6 uur is 2 keer de halveringstijd
- $2 \cdot t_{\frac{1}{2}} = 6 \rightarrow t_{\frac{1}{2}} = 3$ uur

- c Bereken de hoeveel van deze stof aanwezig is na 6 uur.
- na 6 uur is er nog een kwart aanwezig $\rightarrow \frac{100}{4} = 25$ gram

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

- $\frac{24}{3} = 8 \rightarrow 8$ keer de halveringstijd
- $\left(\frac{1}{2}\right)^8 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{256}$
- de hoeveelheid is met een factor 256 afgenomen
- $\frac{100}{256} = 0,390625 \rightarrow$ er is nog 0,39 gram over

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

- $\frac{12}{3} = 4 \rightarrow 4$ keer de halveringstijd
- $\left(\frac{1}{2}\right)^4 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{16}$
- de hoeveelheid is met een factor 16 afgenomen
- $\frac{100}{16} = 6,25 \rightarrow$ er is nog 6,25 gram over
- na 12 uur is er $100 - 6,25 = 93,75$ gram vervallen

20***

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 $t=0$.

- $A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N$
- 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.

- $A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N$
- $t_{1/2}$ 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

21***

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

- in 1,0 g zitten $4,60 \cdot 10^{21}$ atomen
- $A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N$
- opzoeken: $t_{1/2} = 8,0$ dagen $= 8 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 6,912 \cdot 10^5$ s (tijd moet in seconden)
- $A = \frac{0,693}{6,912 \cdot 10^5} \cdot 4,60 \cdot 10^{21} = 4,6133 \cdot 10^{15} = 4,61 \cdot 10^{15}$ Bq

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

- 1 gram: $A = 4,6133 \cdot 10^{15}$ Bq
- 5 gram \rightarrow activiteit wordt 5 keer groter
- 5 gram: $A = 5 \cdot 4,6133 \cdot 10^{15} = 2,31 \cdot 10^{16}$ Bq

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

- $\left(\frac{1}{2}\right)^6 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{64}$
- na zes keer de halveringstijd is er 1/64 deel over
- opzoeken: $t_{1/2} = 8,0$ dagen
- $6 \cdot 8 = 48$ dagen
- na 48 dagen is er nog 1/64 deel van de activiteit over

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

- 87,5% vervallen \rightarrow 12,5% is nog aanwezig
- 12,5% is $1/8$ deel
- $\left(\frac{1}{2}\right)^3 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$
- na drie keer de halveringstijd is er 1/8 deel over
- $t_{1/2} = 8,0$ dagen
- $3 \cdot 8 = 24$ dagen
- na 24 dagen is er nog 12,5% van het jood-131 aanwezig
- na 24 dagen is er 87,5% van het jood-131 vervallen

e Bereken na hoeveel tijd de activiteit is gedaald tot $2,0 \cdot 10^{13}$ Bq.

- $A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$

- $2,0 \cdot 10^{13} = 4,61 \cdot 10^{15} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{8,0}} \rightarrow 4,335284 \cdot 10^{-3} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{8,0}}$

$${}^{10}\log 4,335284 \cdot 10^{-3} = {}^{10}\log \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \frac{t}{8,0}$$

- $t = 8,0 \cdot \frac{{}^{10}\log 4,335284 \cdot 10^{-3}}{{}^{10}\log \left(\frac{1}{2}\right)} = 8,0 \cdot 7,84965778 = 62,79726 = 62,8 \text{ dagen}$

f Bereken na hoeveel tijd 90% van het jood-131 is vervallen.

- $N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$

- $10 = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{8,0}} \rightarrow 0,1 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{8,0}} \rightarrow {}^{10}\log 0,1 = {}^{10}\log \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \frac{t}{8,0}$

- $t = 8,0 \cdot \frac{{}^{10}\log 0,1}{{}^{10}\log \left(\frac{1}{2}\right)} = 8,0 \cdot 3,321928 = 26,5754 = 26,6 \text{ dagen}$

22***

a Bepaal de activiteit van Rn-219 op $t = 8,0 \text{ s}$ met de raaklijnmethode.

- teken een lange raaklijn op $t=8 \text{ s}$
- aflezen: $\Delta N = -265 \cdot 10^6$ kernen en $\Delta t = 13,8 \text{ s}$

- $A = -\frac{\Delta N}{\Delta t}$

- $A = \frac{265 \cdot 10^6}{13,9} = 1,9 \cdot 10^7 \text{ Bq}$

b Bepaal de activiteit van Rn-219 op $t = 8,0 \text{ s}$ met de afleesmethode.

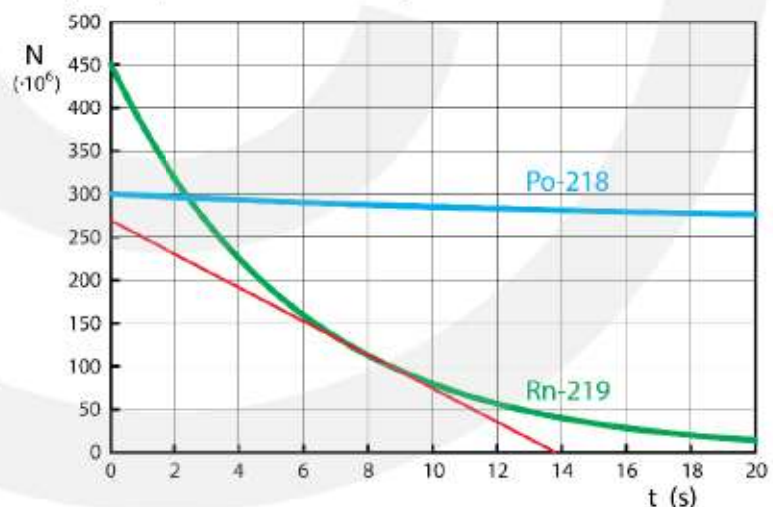
- aflezen op $t=8,0 \text{ s}$
 $N = 110 \cdot 10^6$ kernen
- aflezen $t_{1/2} = 4,0 \text{ s}$

- $A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N$

- $A = \frac{\ln 2}{4} \cdot 110 \cdot 10^6 = 1,9 \cdot 10^7 \text{ Bq}$

c Bepaal de gemiddelde activiteit van Rn-219 tussen $t = 0$ en $t = 16 \text{ s}$.

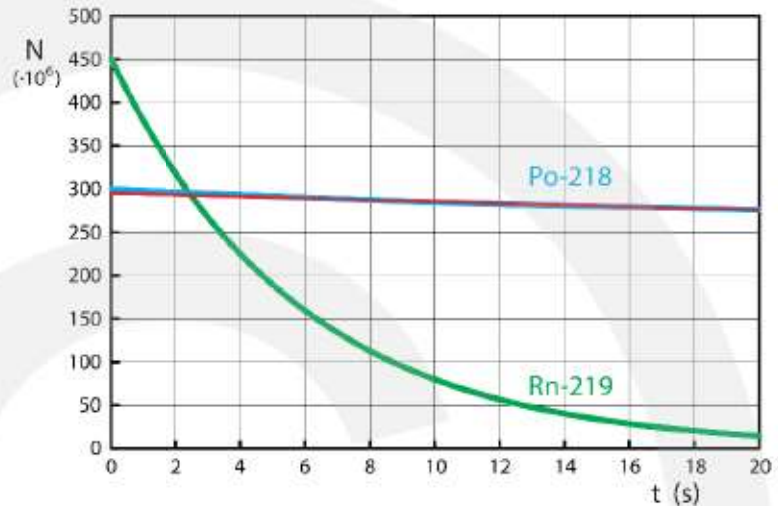
- aflezen: $\Delta N = 30 \cdot 10^6 - 450 \cdot 10^6 = -420 \cdot 10^6$ kernen



- $A = -\frac{\Delta N}{\Delta t}$
- $A = \frac{420 \cdot 10^8}{16} = 2,6 \cdot 10^7 \text{ Bq}$

d Bepaal de activiteit van Po-218 op $t = 8,0 \text{ s}$ met de raaklijnmethode.

- teken een lange raaklijn op $t = 8 \text{ s}$
- $\Delta N = 275 \cdot 10^8 - 295 \cdot 10^8$
- $\Delta N = -20 \cdot 10^8 \text{ kernen}$
- $\Delta t = 20 \text{ s}$
- $A = -\frac{\Delta N}{\Delta t}$
- $A = \frac{20 \cdot 10^8}{20} = 1,0 \cdot 10^8 \text{ Bq}$



e Bepaal de activiteit van Po-218 op $t = 8,0 \text{ s}$ met de afleesmethode.

- aflezen op $t = 8,0 \text{ s}$ $N = 290 \cdot 10^8 \text{ kernen}$
- opzoeken $t_{1/2} = 3,05 \text{ min} = 183 \text{ s}$
- $A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N$
- $A = \frac{\ln 2}{183} \cdot 290 \cdot 10^8 = 1,1 \cdot 10^8 \text{ Bq}$

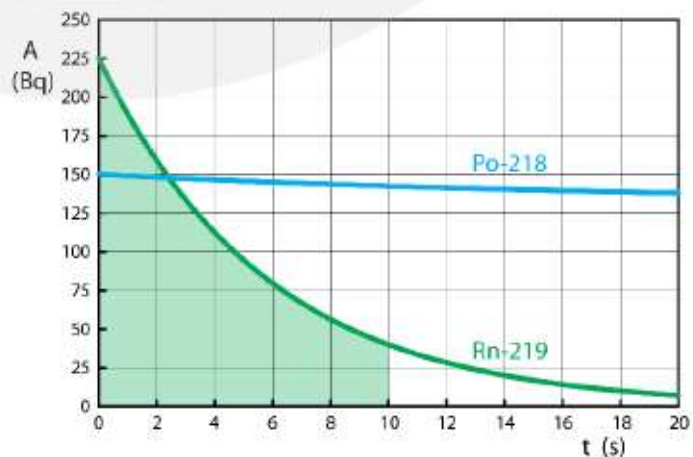
f Bepaal de gemiddelde activiteit van Po-218 tussen $t = 0$ en $t = 20 \text{ s}$.

- aflezen: $\Delta N = 275 \cdot 10^8 - 300 \cdot 10^8 = -25 \cdot 10^8 \text{ kernen}$
- $A = -\frac{\Delta N}{\Delta t}$
- $A = \frac{25 \cdot 10^8}{20} = 1,25 \cdot 10^8 \text{ Bq}$

23***

a Bepaal het aantal vervallen Rn-219 kernen op $t = 10 \text{ s}$ met de oppervlaktemethode.

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



b Bepaal het aantal vervallen Rn-219 kernen op $t = 10 \text{ s}$ met de afleesmethode.

- aflezen: $t = 0 \text{ s} \rightarrow A = 225 \text{ Bq}$ | $t = 10 \text{ s} \rightarrow A = 28 \text{ Bq}$
- aflezen $t_{\frac{1}{2}} = 4,0 \text{ s}$
- $A = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} \cdot N$
- $t = 0 \text{ s} \rightarrow 225 = \frac{\ln 2}{4} \cdot N \rightarrow N = 1298,4 \text{ kernen}$
- $t = 10 \text{ s} \rightarrow 28 = \frac{\ln 2}{4} \cdot N \rightarrow N = 161,58 \text{ kernen}$
- aantal vervallen: $\Delta N = 1298,43 - 161,58 = 1136,8 = 1,1 \cdot 10^3 \text{ kernen}$

c Bepaal het aantal vervallen Po-218 kernen op $t = 10 \text{ s}$ met de oppervlakte-methode en met de afleesmethode.

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

d Bepaal het aantal vervallen Po-218 kernen op $t = 10 \text{ s}$ met de afleesmethode.

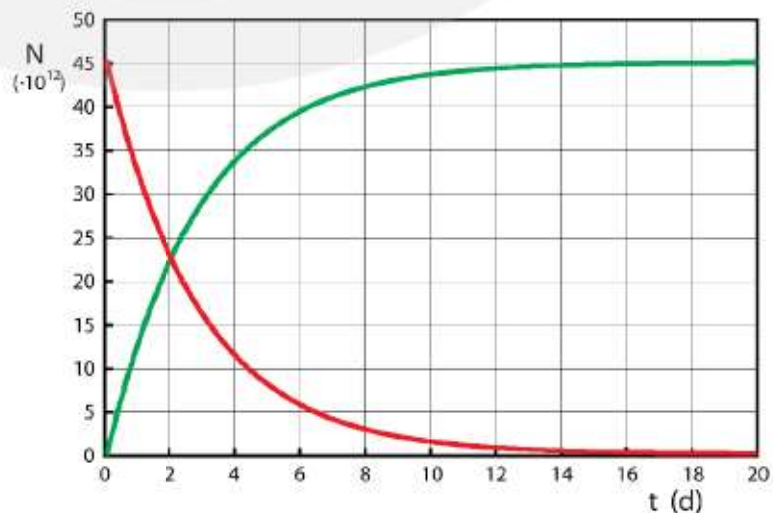
- aflezen: $t = 0 \text{ s} \rightarrow A = 150 \text{ Bq}$ | $t = 10 \text{ s} \rightarrow A = 148 \text{ Bq}$
- opzoeken $t_{\frac{1}{2}} = 3,05 \text{ min} = 183 \text{ s}$
- $A = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} \cdot N$
- $t = 0 \text{ s} \rightarrow 150 = \frac{\ln 2}{183} \cdot N \rightarrow N = 3,960 \cdot 10^4 \text{ kernen}$
- $t = 10 \text{ s} \rightarrow 143 = \frac{\ln 2}{183} \cdot N \rightarrow N = 3,775 \cdot 10^4 \text{ kernen}$
- $\Delta N = 3,960 \cdot 10^4 - 3,775 \cdot 10^4 = 1,85 \cdot 10^3 = 1,9 \cdot 10^3 \text{ kernen}$

24* 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: $t_{\frac{1}{2}} = 2,0 \text{ dagen}$



c Leg uit of de activiteit toeneemt, afneemt of gelijk blijft

- tijdens het verval neemt het aantal aanwezige kernen af

- $A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N$

- N neemt af en $t_{1/2}$ blijft gelijk \rightarrow A neemt af

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

- 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

- $t_{1/2} = 2,0 \text{ d} = 1,728 \cdot 10^5 \text{ s}$

- $A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N$

- $A = \frac{\ln 2}{1,728 \cdot 10^5} \cdot 8,0 \cdot 10^{12} = 3,2 \cdot 10^7 \text{ Bq}$

e Bepaal de gemiddelde activiteit tussen $t = 0$ en $t = 2,0$ d.

- aflezen: aantal vervallen kernen op $t = 2,0$ d is $22,5 \cdot 10^{12}$ kernen

- $\Delta N = -22,5 \cdot 10^{12} \quad | \quad \Delta t = 1,728 \cdot 10^5 \text{ s} \quad | \quad A_{\text{gem}} = \dots \text{ Bq}$

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

f 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

- $\Delta N = -45 \cdot 10^{12} \quad | \quad \Delta t = 1,728 \cdot 10^4 \text{ s} \quad | \quad A_{\text{gem}} = \dots \text{ Bq}$

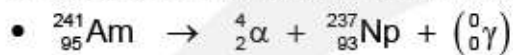
- $A_{\text{gem}} = -\frac{\Delta N}{\Delta t} \rightarrow A = \frac{45 \cdot 10^{12}}{1,728 \cdot 10^4} = 2,6 \cdot 10^9 \text{ Bq}$

14.3 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

- $A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N$

- 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?

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

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

- $3 \cdot 5 = 15$ mm \rightarrow het plaatje 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
- $7 \cdot 5 = 35 \text{ mm} \rightarrow$ het plaatje moet 35 mm dik zijn

6** **a** Hoe dik is het plaatje?

- $\frac{6,25}{100} = \frac{1}{16}$

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

- $4 \cdot 2 = 8 \text{ cm} \rightarrow$ het plaatje moet 8 cm dik zijn

b Hoe dik is dit plaatje?

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

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

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

- $3 \cdot 2 = 6 \text{ cm} \rightarrow$ het plaatje moet 6 cm dik zijn

c Hoe dik is dit plaatje?

- $\frac{0,78}{100} = \frac{1}{128}$

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

- $7 \cdot 2 = 14 \text{ cm} \rightarrow$ het plaatje moet 14 cm dik zijn

7*** **a** Bereken de dikte van het eerste plaatje.

- 25 % wordt doorgelaten

- $\frac{25}{100} = \frac{1}{4}$

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

- $2 \cdot 1,5 = 3 \text{ cm} \rightarrow$ plaatje 1 is 3 cm dik

b Bereken de dikte van het tweede plaatje.

- $\frac{6,25}{100} = \frac{1}{16}$
- $\left(\frac{1}{2}\right)^4 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{16} \rightarrow$ 4 keer de halveringsdikte
- $4 \cdot 1,5 = 6 \text{ cm} \rightarrow$ de plaatjes 1 en 2 zijn samen 6 cm dik
- plaatje 1 is 3 cm dik \rightarrow plaatje 2 is $6 - 3 = 3 \text{ cm}$ 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 γ -stralen gaan door 3 keer de halveringsdikte

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

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

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

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

- dikte van plaatje A is 4 keer de halveringsdikte
- dikte van plaatje B is 3 keer de halveringsdikte
- de γ -stralen gaan door 7 keer de halveringsdikte

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

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

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

9^{***}

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

- $\frac{0,055}{0,011} = 5$

- de dikte van het loodschort is 5 keer de halveringsdikte



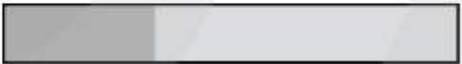
- $\left(\frac{1}{2}\right)^5 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{32}$

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

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

14.4 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*** Stralingsbescherming

- 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.
- ${}^{137}_{55}\text{Cs} \rightarrow {}^0_{-1}\beta + {}^{137}_{56}\text{Ba} + ({}^0_0\gamma)$
- c Geef de vervalreactie van Sr-90.
- ${}^{90}_{38}\text{Sr} \rightarrow {}^0_{-1}\beta + {}^{90}_{39}\text{Y}$
- d Geef de vervalreactie van Po-209.
- ${}^{209}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^4_2\alpha + {}^{205}_{82}\text{Pb}$

- c 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



14.5 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** Inwendige bestraling

- 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.
- ${}_{88}^{226}\text{Ra} \rightarrow {}_2^4\alpha + {}_{88}^{222}\text{Rn} + {}_0^0\gamma$
 - ${}_{27}^{60}\text{Co} \rightarrow {}_{-1}^0\beta + {}_{28}^{60}\text{Ni} + {}_0^0\gamma$
- 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 de halveringstijd van Co-60 is 5,27 jaar

3**

a Bereken het dosisequivalent dat de monteur na 1,0 uur werken ontvangt.

- $E_{\text{abs}} = 60 \cdot 60 \cdot 1,0 \cdot 10^{-7} = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ J per uur} \quad | \quad m = 90 \text{ kg} \quad | \quad D = \dots \text{ Gy}$

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

- $D = \frac{3,6 \cdot 10^{-4}}{90} = 4,0 \cdot 10^{-6} \text{ Gy} \quad (\text{J/kg})$

- $H = w_R \cdot D$ met $w_R = 20$ voor α -straling

- $H = 20 \cdot 4,0 \cdot 10^{-6} = 8,0 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$

b Bereken het dosisequivalent dat de monteur in één jaar ontvangt.

- 5 uur per dag 150 dagen per jaar is 750 uur per jaar

- per uur: $H = 8,0 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$

- per jaar: $H = 750 \cdot 8,0 \cdot 10^{-5} = 6,0 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}$

- c Voldoet de monteur aan deze wet?
- de monteur ontvangt per jaar $6,0 \cdot 10^{-2}$ Sv
 - dit is 60 mSv per jaar → de monteur voldoet niet aan de wet

4^{***} a Bereken de stralingsdosis die de spieren ontvangen.

- $E_{\text{bron}} = P_{\text{bron}} \cdot t \rightarrow E_{\text{bron}} = 0,15 \cdot 10^{-6} \cdot 2,5 \cdot 60 = 2,25 \cdot 10^{-5}$ J
- $E_{\text{abs}} = 0,7 \cdot E_{\text{bron}} \rightarrow E_{\text{abs}} = 0,7 \cdot 2,25 \cdot 10^{-5} = 1,575 \cdot 10^{-5}$ J
- $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m}$
- $D = \frac{1,575 \cdot 10^{-5}}{12} = 1,3125 \cdot 10^{-6} = 1,3 \cdot 10^{-6}$ Gy

b Bereken de activiteit van de stralingsbron.

- $E_{\text{deeltje}} = 0,40 \cdot 10^6 \cdot 1,6022 \cdot 10^{-19} = 6,4088 \cdot 10^{-14}$ J
- $P_{\text{bron}} = A \cdot E_{\text{deeltje}}$
- $0,15 \cdot 10^{-6} = A \cdot 6,4088 \cdot 10^{-14} \rightarrow A = 2,34053 \cdot 10^{18} = 2,3 \cdot 10^{18}$ Bq

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

- $D = 5 \cdot 10^{-3}$ J/kg | $m = 65$ kg | $E_{\text{abs}} = \dots$ J
- $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m}$
- $5,0 \cdot 10^{-3} = \frac{E_{\text{abs}}}{65} \rightarrow E_{\text{abs}} = 65 \cdot 5,0 \cdot 10^{-3} = 0,325$ J

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

- per seconde: $E_{\text{abs}} = 1,0 \cdot 10^{-7}$ J
- totaal: $E_{\text{abs}} = 0,325$ J
- aantal seconden: $t = \frac{0,325}{1,0 \cdot 10^{-7}} = 3,25 \cdot 10^6$ s
- aantal uur: $t = \frac{3,25 \cdot 10^6}{60 \cdot 60} = 903$ uur

6^{***} a Bereken de stralingsdosis die de man ontvangt.

- $t = 15$ min = $60 \cdot 15 = 900$ s | $P = 5,0 \cdot 10^{-9}$ J/s | $D = \dots$ Gy
- $E_{\text{abs}} = P \cdot t = 5,0 \cdot 10^{-9} \cdot 900 = 4,5 \cdot 10^{-6}$ J

- $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m}$
- $D = \frac{4,5 \cdot 10^{-6}}{60} = 7,5 \cdot 10^{-8} \text{ Gy (J/kg)}$

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 $\rightarrow D = 7,5 \cdot 10^{-8} \text{ Gy (J/kg)}$

7***

a Bereken de dosis die ze in een jaar ontvangt.

- $t = 20$ uur per week | $H = 7,0 \cdot 10^{-6} \text{ Sv per uur}$ | $H = \dots \text{ Sv per jaar}$
- $D = 20 \cdot 7,0 \cdot 10^{-6} = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ Gy per week}$
- 52 weken in een jaar
- $D = 52 \cdot 1,4 \cdot 10^{-4} = 7,28 \cdot 10^{-3} \text{ Gy per jaar}$

b Bereken hoeveel uur een stewardess per week gemiddeld moet vliegen om de stralingsnorm te overschrijden.

- $H = 20 \cdot 10^{-3} \text{ Sv per jaar}$
- 52 weken in een jaar
- $H = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{52} = 3,845 \cdot 10^{-4} \text{ Sv per week}$
- $H = 7,0 \cdot 10^{-6} \text{ Sv per uur}$
- aantal uur: $t = \frac{3,846 \cdot 10^{-4}}{7,0 \cdot 10^{-6}} = 55 \text{ uur per week}$

8***

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

- $P = 0,0015 \text{ J/s}$ | $t = 20 \text{ s}$ | $m = 0,2 \text{ kg}$ | $D = \dots \text{ Gy}$
- $E_{\text{abs}} = P \cdot t = 0,0015 \cdot 20 = 0,03 \text{ J}$
- $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m}$
- $D = \frac{0,03}{0,2} = 0,15 \text{ Gy (J/kg)}$

b Bereken de dosis die de hand van de verkoper ontvangt na 10 seconden bestralen.

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

- $D = \frac{E_{abs}}{m}$
- $D = \frac{0,06}{0,3} = 0,20 \text{ Gy}$

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

- 30 seconden per dag 250 dagen per jaar = 7500 seconden per jaar

- $E_{abs} = 0,18 \text{ J per minuut} = \frac{0,18}{60} = 0,003 \text{ J per seconde}$

- $E_{abs} = 7500 \cdot 0,003 = 22,5 \text{ J per jaar}$

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

- $D = \frac{22,5}{0,3} = 75 \text{ Gy}$

- $H = w_R \cdot D \rightarrow H = 0,9 \cdot 75 = 67,5 = 68 \text{ Sv}$

9***

a Bereken de stralingsdosis die de huid ontvangt.

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

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

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

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

b Bereken het ontvangen dosisequivalent.

- $D = 9,0 \cdot 10^{-5} \text{ Gy} \mid w_R = 20 \mid H = \dots \text{ Sv}$

- $H = w_R \cdot D$

- $H = 20 \cdot 9,0 \cdot 10^{-5} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ Sv}$

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

- 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?

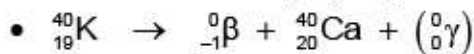
- het uranium kan niet uit het glas ontsnappen
- je wordt niet radioactief besmet

b Wordt 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 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 $\rightarrow \frac{0,012}{100} \cdot 1,5092 \cdot 10^{24} = 1,811 \cdot 10^{20}$

- halveringstijd $\rightarrow 1,28 \cdot 10^9 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 4,0366 \cdot 10^{16} \text{ s}$

- $A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N$

- $A = \frac{\ln 2}{4,0366 \cdot 10^{16}} \cdot 1,811 \cdot 10^{20} = 3,10976 \cdot 10^3 = 3,11 \cdot 10^3 \text{ Bq}$

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

- β -deeltje heeft 1,33 MeV energie $\rightarrow E_{\text{deeltje}} = 1,33 \cdot 10^6 \cdot 1,6022 \cdot 10^{-19} = 2,131 \cdot 10^{-13} \text{ J}$

- $A = 3,11 \cdot 10^3 \text{ Bq} \quad | \quad E_{\text{deeltje}} = 2,131 \cdot 10^{-13} \text{ J} \quad | \quad P = \dots \text{ J/s}$

- $P = A \cdot E_{\text{deeltje}} \rightarrow P = 3,11 \cdot 10^3 \cdot 2,131 \cdot 10^{-13} = 6,627 \cdot 10^{-10} \text{ J/s}$

- uitgestraalde energie per jaar $\rightarrow E = 6,627 \cdot 10^{-10} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 2,090 \cdot 10^{-2} \text{ J}$

- geabsorbeerde energie per jaar $\rightarrow E_{\text{abs}} = 0,33 \cdot 2,090 \cdot 10^{-2} = 6,897 \cdot 10^{-3} \text{ J}$

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

- $D = \frac{6,897 \cdot 10^{-3}}{30} = 2,299 \cdot 10^{-4} = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ Gy}$

12***

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

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

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

- A per m³ $\rightarrow A = \frac{1000}{2,5} \cdot 6,02989 \cdot 10^{-2} = 24,1196 = 24 \text{ Bq}$

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 $w_R = 20$
- $H = 20 \cdot 1,11427 \cdot 10^{-5} = 2,2285 \cdot 10^{-4} = 2,23 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}$

13****

- a** Leg uit waarom dit het geval is.
- jodium-131 verdwijnt door twee onafhankelijke processen: radioactief verval en biologische afscheiding
 - de hoeveelheid I-131 is door beide processen samen sneller gehalveerd dan door één van de processen afzonderlijk
- b** Beredeneer dat de activiteit van het opgenomen jodium-131 na 24 dagen $1/8 A_0$ zou bedragen als er geen biologische uitscheiding zou zijn.
- de natuurkundige halveringstijd van I-131 is 8,0 dagen
 - 24 dagen = $24 / 8,0 = 3$ keer de halveringstijd \rightarrow
 - na 3 keer de halveringstijd is de activiteit nog $(1/2)^3 = 1/8$
- c** Beredeneer dat de activiteit van het opgenomen jodium-131 na 24 dagen $1/32 A_0$ bedraagt ten gevolge van zowel de natuurkundige als de biologische halveringstijd.
- door biologische afscheiding is na 24 dagen nog maar $1/4$ van het I-131 in het lichaam aanwezig
 - van deze hoeveelheid is dan nog maar $1/8$ deel over
 - van de oorspronkelijk hoeveelheid is er $\frac{1}{4} \times \frac{1}{8} = \frac{1}{32}$ deel over
 - de activiteit is recht evenredig met het aantal aanwezige kernen
 - de activiteit is $1/32$ deel van de oorspronkelijk activiteit = $1/32 A_0$
- d** Leg uit waarom dit het geval is.
- het natuurkundige verval en het biologische verval zijn twee onafhankelijke processen
 - de kans dat een kern vervalt is de vermenigvuldiging van de natuurkundige en de biologische kans op verval

+ **e** Toon dit aan.

- $N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_N}} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_B}}$
- er geldt: $a^x \cdot a^y = a^{x+y}$
- $N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_N} + \frac{t}{T_B}} \rightarrow N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\left(\frac{1}{T_N} + \frac{1}{T_B}\right)t}$

- we schrijven voor het verval: $N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{\tau_{\text{eff}}}}$
- door te vergelijken vinden we: $\frac{1}{\tau_{\text{eff}}} = \frac{1}{\tau_N} + \frac{1}{\tau_B}$

f Bereken met deze formule de effectieve halveringstijd van jodium-131 opgenomen door de schildklier.

- $\tau_N = 8,0$ dagen ; $\tau_B = 12$ dagen
- $\frac{1}{\tau_{\text{eff}}} = \frac{1}{8} + \frac{1}{12} = \frac{3}{24} + \frac{2}{24} = \frac{5}{24} \rightarrow \tau_{\text{eff}} = \frac{24}{5} = 4,8$ dagen

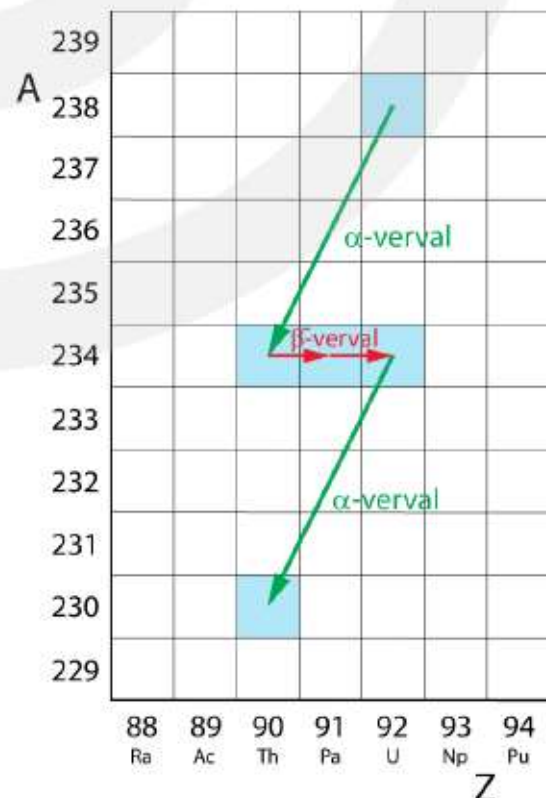
g Bereken met deze formule dat de activiteit na 24 dagen inderdaad nog maar $1/32$ A_0 is.

- $A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{\tau_{\text{eff}}}}$
- $A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{24}{4,8}} = A_0 \cdot 0,03125 = \frac{1}{32} \cdot A_0$

14.6 Kernreacties

Vervalketen

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



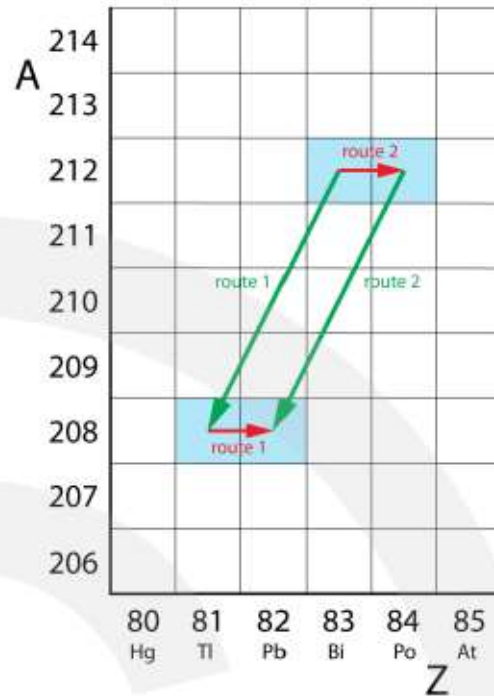
2***

- a** Leg uit of de verandering van het massagetal wordt veroorzaakt door het uitzenden van α -deeltjes of door het uitzenden van β^- -deeltjes.
- het massagetal kan alleen veranderen door het uitzenden van α -deeltjes
- b** Bereken bij hoeveel stappen in de vervalreeks er een α -deeltje wordt uitgezonden.
- massa gaat van 238 naar 206 en neemt dus af met 32
 - bij het uitzenden van een α -deeltje neemt het massagetal met 4 af
 - $\frac{32}{4} = 8 \rightarrow$ er wordt 8 keer een α -deeltje uitgezonden
- c** Bereken bij hoeveel stappen in de vervalreeks er een β^- -deeltje wordt uitgezonden.
- uranium heeft atoomnummer 92 en lood heeft atoomnummer 82
 - het atoomnummer neemt met 10 af
 - door het uitzenden van 8 α -deeltjes neemt atoomnummer met $8 \cdot 2 = 16$ af
 - door het uitzenden van 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***

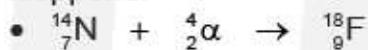
- a** Bereken bij hoeveel stappen in de vervalreeks er een α -deeltje wordt uitgezonden.
- massa gaat van 212 naar 208
 - verschil is 4 stappen
 - er wordt 1 keer een α -deeltje uitgezonden
- b** Bereken bij hoeveel stappen in de vervalreeks er een β^- -deeltje wordt uitgezonden.
- bismut heeft atoomnummer 83 | lood heeft atoomnummer 82
 - het atoomnummer neemt met 1 af
 - door het uitzenden van één α -deeltjes neemt atoomnummer met 2 af
 - er moet dus 1 keer een β^- -deeltje worden uitgezonden om het atoomnummer met 1 stap te laten afnemen
- 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: ${}_{81}^{208}\text{Th} \rightarrow {}_{-1}^0\beta^- + {}_{82}^{208}\text{Pb}$
- 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

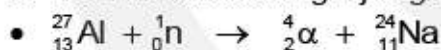
- 4** a Maak de reactievergelijking van stap 1 kloppend:



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



- 5** a Geef de reactievergelijkingen van deze gestimuleerde reactie.



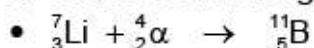
- b Geef de reactievergelijkingen van deze spontane reactie.



- 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 Stel de reactievergelijking op.

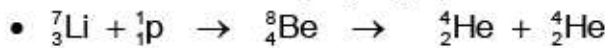


- b Controleer of het reactieproduct een stabiel isotoop is.

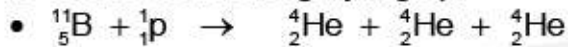
- er ontstaat ${}_{5}^{11}\text{B}$ en dit is een stabiel isotoop (oneindig lange halveringstijd)

7***

a Stel de reactievergelijking op.



b Stel de reactievergelijking op.



(als de reactie verloopt volgens: $\text{}^{11}_5\text{B} + \text{}^1_1\text{p} \rightarrow \text{}^{12}_6\text{C}$ ontstaat er geen helium-4 want de C-12 kern is stabiel)

K-vangst

8**

a Leg uit wat met K-vangst wordt bedoeld.

- de kern neemt een elektron op uit de K-schil
- het gat in de K-schil wordt opgevuld door een elektron uit een hogere schil (L, M, ...)
- de energie die hierbij vrijkomt wordt uitgezonden als röntgenstraling

b Stel de reactievergelijking op.

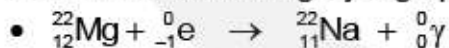


+ c Leg uit of de röntgenstraling uit fotonen met dezelfde energie bestaat of dat er röntgenfotonen met verschillende energieën worden uitgezonden.

- het koolstof heeft 2 elektronen in de K-schil en 4 elektronen in de L-schil
- het gat in de K-schil kan alleen worden opgevuld door een elektron uit de L-schil
- de energie van het röntgenfoton is het energieverval tussen de K- en de L- schil en heeft dus één vaste waarde

9***

a Stel de reactievergelijking op.



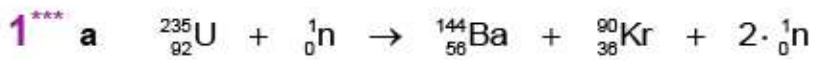
b Leg uit waardoor dit wordt veroorzaakt.

- het gat in de K-schil kan worden opgevuld door een elektron uit de L- schil en een elektron uit de M-schil
- de energie van de uitgezonden röntgenfotonen is het energieverval tussen
 - de K- en L-schil
 - de K- en M-schil
 - de L- en M-schil
- in het laatste geval valt een elektron uit de L- schil in het gat van de K-schil, vervolgens valt een elektron uit de M-schil in het gat van de L-schil

+ c Stel de vergelijking op waaraan $E_{f, \text{laag}}$, $E_{f, \text{middel}}$ en $E_{f, \text{hoog}}$ moeten voldoen.

- $E_{M \rightarrow K} = E_{\text{hoog}} \quad | \quad E_{L \rightarrow K} = E_{\text{middel}} \quad | \quad E_{M \rightarrow L} = E_{\text{laag}}$
- $E_{M \rightarrow K} = E_{M \rightarrow L} + E_{L \rightarrow K}$
- $E_{\text{hoog}} = E_{\text{laag}} + E_{\text{middel}}$

14.7 Massa en energie



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

- $4000 \text{ kWh} = 4000 \cdot 3,6 \cdot 10^8 = 1,44 \cdot 10^{10} \text{ J}$
- $E = m \cdot c^2$
- $1,44 \cdot 10^{10} = m \cdot (3,0 \cdot 10^8)^2 \rightarrow m = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ kg}$

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 m^3 stookolie per jaar $\rightarrow \frac{1,44 \cdot 10^{10}}{40 \cdot 10^9} = 0,36 \text{ m}^3$
- aantal liter stookolie per jaar $\rightarrow 0,36 \cdot 1000 = 360 \text{ liter}$

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

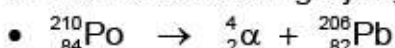
- $E = m \cdot c^2$ met $m = 1 \text{ kg} \rightarrow E = 1 \cdot (3,0 \cdot 10^8)^2 = 9,0 \cdot 10^{16} \text{ J}$
- aantal m^3 stookolie per jaar $\rightarrow \frac{9,0 \cdot 10^{16}}{40 \cdot 10^9} = 2,25 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
- aantal liter stookolie per jaar $\rightarrow 2,25 \cdot 10^6 \cdot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

Massadefect

3*** a Beredeneer of deze overgang spontaan kan optreden.

- ${}^7_3\text{Li} \rightarrow {}^0_{-1}\beta + {}^7_4\text{Be}$
- massa Li-7 atoom $7,016004 \text{ u}$
- massa Be-7 atoom $7,016929 \text{ u}$
- $\Delta m = (7,016004 - 3 \cdot m_e) - m_e - (7,016929 - 4 \cdot m_e)$
- m_e wegstrepen $\rightarrow \Delta m = 7,016929 - 7,016004 = 9,25 \cdot 10^{-4} \text{ u}$
- er is massa ontstaan \rightarrow het proces kan niet spontaan verlopen

4**** 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
- er is dan geen spontaan proces meer
- een spontaan proces kan alleen verlopen als er geen energie hoeft te worden toegevoegd

c Bereken het massadefect bij het verval van Po-210.

- massa Po-210 kern $209,98288 - (84 \cdot 5,4858 \cdot 10^{-4}) = 209,936799 \text{ u}$
- TOTAAL BEGIN $209,936799 \text{ u}$

- massa He-4 kern $4,002603 - (2 \cdot 5,4858 \cdot 10^{-4}) = 4,00150584 \text{ u}$
- massa Pb-206 kern $205,97446 - (82 \cdot 5,4858 \cdot 10^{-4}) = 205,929476 \text{ u}$
- TOTAAL EIND $209,930982 \text{ u}$

- VERSCHIL BEGIN – EIND $5,81716 \cdot 10^{-3} \text{ u}$

- massadefect $5,82 \cdot 10^{-3} \text{ u} \quad (9,66 \cdot 10^{-30} \text{ kg})$

OPMERKING

Voor en na de reactie zijn er 84 elektronen. Het is daarom niet nodig om ze voor en na de reactie de elektronmassa van de atoommassa's af te trekken.

d Bereken uit het massadefect de hoeveelheid vrijkomende energie.

- $1 \text{ u} = 931,49 \text{ MeV}$ (Binas 7)
 - $5,81716 \cdot 10^{-3} \text{ u} = 5,418626 = 5,42 \text{ MeV}$
- e** Vergelijk de vrijgemaakte energie met de energie van het uitgezonden α -deeltje volgens Binas 25 en leg uit waarom de berekende waarde bij d afwijkt van de waarde in Binas.
- volgen Binas 25 krijgt het α -deeltje 5,4 MeV energie
 - het verschil van 0,02 MeV wordt verdeeld over twee processen:
 - bij het uitstoten van het α -deeltje krijgt niet alleen het α -deeltje een snelheid maar ook de Pb-206 kern \rightarrow de kinetische energie van de Pb-206 kern neemt toe
 - het Pb-206 kern ontstaat niet in de grondtoestand maar in een aangeslagen (hoog energetische) toestand; het aangeslagen Pb-206 vervalt naar de grondtoestand onder uitzending van een γ -foton
 - de kinetische energie van de Pb-206 kern plus de energie van het γ -foton zijn samen 0,02 MeV

5** a** Bereken het massadefect voor het α -verval van neptunium.

- ${}_{93}^{237}\text{Np} \rightarrow {}_2^4\alpha + {}_{91}^{233}\text{Pa}$
- massa Np-237 atoom $237,0481 \text{ u}$
- massa He-4 atoom $4,002603 \text{ u}$

- massa Pa-233 atoom 233,04024 u
- $\Delta m = (239,05293 - 93 \cdot m_e) - (4,002603 - 2 \cdot m_e) - (233,04024 - 91 \cdot m_e)$
- m_e wegstrepen
- $\Delta m = 239,04817 - 4,002603 - 233,04024 = 5,327 \cdot 10^{-3}$ u
- er is massa ontstaan

b Bereken het massadefect voor het β^- -verval van neptunium.

- ${}_{93}^{239}\text{Np} \rightarrow {}_{-1}^0\beta + {}_{94}^{239}\text{Pu}$
- massa Np-239 atoom 239,05293 u
- massa Pu-239 atoom 239,05216 u
- $\Delta m = (239,05293 - 93 \cdot m_e) - m_e - (239,05216 - 94 \cdot m_e)$
- m_e wegstrepen
- $\Delta m = 239,05293 - 239,05216 = 7,7 \cdot 10^{-4}$ u
- er is massa ontstaan

c Beredeneer of deze vervalprocessen spontaan kunnen verlopen.

- in beide gevallen ontstaat er massa \rightarrow er wordt energie toegevoegd
- beide processen zijn niet spontaan

6* a** Bepaal met welke deeltjes het beryllium is beschoten.

- ${}_{4}^9\text{Be} + ? \rightarrow {}_{3}^7\text{Li} + {}_{2}^4\alpha$
- $? = {}_{1}^2\text{H}$

b Leg uit of bij deze kernreactie sprake is van massatoename of massa-afname.

- voor de reactie: $E_K = 2,5$ MeV
- na de reactie: $E_K = 3,2 + 6,5 = 9,7$ MeV
- er is kinetische energie ontstaan \rightarrow
- er is massa verdwenen

c Bereken het massadefect.

- er is $9,7 - 2,5 = 7,2$ MeV kinetische energie ontstaan
- $1 \text{ u} = 931,49$ MeV
- $7,2 \text{ MeV} = \frac{7,2}{931,49} = 7,72952 \cdot 10^{-3}$ er is $7,73 \cdot 10^{-3}$ u omgezet

Kernreactor

7* a** Bereken hoeveel neutronen er ontstaan.

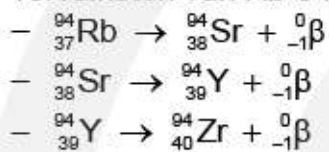
- X is de kern met massagetal 94 ; Y is de kern met massagetal 140
- reactievergelijking: ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{94}^X\text{X} + {}_{140}^Y\text{Y} + ? \cdot {}_0^1\text{n}$
- massagetal begin = massagetal eind
- $236 = 94 + 140 + ? \rightarrow ? = 2$
- er ontstaan twee neutronen

b Stel de vergelijking van deze kernreactie op.

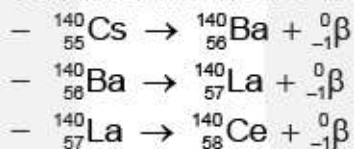
- X of Y is een cesiumkern
- cesium heeft atoomnummer 55
- bij grotere kernen zijn er altijd meer neutronen dan protonen
- kern Y is Cs
- ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_?^94\text{X} + {}_{55}^{140}\text{Cs} + 2 \cdot {}_0^1\text{n}$
- lading begin = lading eind
- $92 = ? + 55 + 0 \rightarrow ? = 37$
- 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



• vervalketen van Cs-140



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

9****

a Bepaal het atoomnummer, de naam en het massagetal van kern X.

- ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{38}^{90}\text{Sr} + \text{X} + 2 \cdot {}_0^1\text{n}$
- massagetal begin = massagetal eind \rightarrow X heeft massagetal 144
- lading begin = lading eind
- atoomnummer Sr is 38
- atoomnummer X is $92 + 0 - 38 - 0 = 54$
- X is xenon (Xe) met massagetal 144 $\rightarrow {}_{54}^{144}\text{Xe}$

b Bereken hoeveel kg aan massa er verdwijnt bij de kernreactie. Gebruik alle beschikbare significante cijfers.

- ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{38}^{90}\text{Sr} + {}_{54}^{144}\text{Xe} + 2 \cdot {}_0^1\text{n}$
- BEGIN $235,04393 - 92 \cdot m_e + 1,008665$
- EIND $89,90775 - 38 \cdot m_e + 143,93823 - 54 \cdot m_e + 2 \cdot 1,008665$
- BEGIN - EIND $\rightarrow 92 \cdot m_e$ valt tegen elkaar weg
- $(235,04393 + 1,008665) - (89,90775 + 143,93823 + 2 \cdot 1,008665) =$
 $236,052595 - 235,863310 = 0,189285 \text{ u}$
- massadefect $0,189285 \text{ u} = 3,14315314 \cdot 10^{-28} = 3,14315 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$
- massa is omgezet in energie

c Bereken hoeveel joule aan energie er ontstaat bij de splitsing van één mol U-235.

- per gesplitste kern wordt er $3,14315 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$ massa in energie omgezet
- per mol gesplitste kernen wordt er $6,02214 \cdot 10^{23} \cdot 3,14315314 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$ is $1,89285082 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$ massa in energie omgezet
- $E = m \cdot c^2 \rightarrow E = 1,89285082 \cdot 10^{-4} \cdot (2,99792458 \cdot 10^8)^2 = 1,7012 \cdot 10^{13} \text{ J}$

Examenvragen havo

Radongas

- 3p **a** Geef de vervalreactie van radon-222.
- ${}_{86}^{222}\text{Rn} \rightarrow {}_2^4\alpha + {}_{84}^{218}\text{Po}$ 1
 - ${}_2^4\alpha$ rechts van de pijl 1
 - ${}_{84}^{218}\text{Po}$ als vervalproduct 1
 - aantal nucleonen voor en na de pijl gelijk 1
- 3p **b** 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 **c** 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 **a** Geef de vergelijking van dit β^- -verval.
- ${}_{19}^{43}\text{K} \rightarrow {}_{20}^{43}\text{Ca} + {}_{-1}^0\text{e} (+\gamma)$ 1
 - 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 **b** 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 **c** 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 **d** 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 **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 1
 - de α -straling is al geabsorbeerd voordat het de badge bereikt 1
- 3p **b** 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 **c** 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 **d** Bereken hoeveel procent van de straling door het loodschort 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 **e** 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 **a** 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 **b** 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 **c** 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 **d** 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 **a** 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 **b** 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 de activiteit van ${}_{94}^{238}\text{Pu}$ 1
- 4p **c** Bereken het nuttig vermogen van de generator 7,0 jaar na het begin van de vlucht.
- gebruik $A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{\text{eff}}}}$ met $A_0 = 2,1 \cdot 10^{16} \text{ Bq}$ 1

- $A = 2,1 \cdot 10^{16} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{7,0}{87,7}} \rightarrow A = 1,98697 \cdot 10^{16} \text{ Bq}$ 1
 - $P = A \cdot E_{\text{deeltje}} \rightarrow 1,98697 \cdot 10^{16} \cdot 5,6 \cdot 10^6 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 1,78275 \cdot 10^4 \text{ W}$ 1
 - nuttig vermogen is $0,034 \cdot 1,78275 \cdot 10^4 = 6,06134 \cdot 10^2 = 6,1 \cdot 10^2 \text{ W}$ 1
- 4p **d** 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 **e** 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 87,7 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 **a** Geef de vervalvergelijking van americium-241.
- $^{241}_{95}\text{Am} \rightarrow ^4_2\alpha + ^{237}_{93}\text{Np}$ 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 **b** Bereken de massa van het americium-241 dat in de rookmelder mag zitten om binnen de wettelijke grens te blijven.
- $t_{\frac{1}{2}} = 432 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 1,36236 \cdot 10^{10} \text{ s}$ 1
 - gebruik $A = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} \cdot N$ 1
 - $37 \cdot 10^3 = \frac{\ln 2}{1,36236 \cdot 10^{10}} \cdot N \rightarrow N = 7,2772 \cdot 10^{14}$ 1

- 4p **c** 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 **d** Noem twee oorzaken waarom niet alle α -deeltjes in de ionisatiekamer terecht komen.
- 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 gabsorbeerd 1
- 4p **e** 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 **a** Bereken hoeveel procent van een bepaalde hoeveelheid technetium-99 over is na 1,05 miljoen jaar.
- opzoeken $t_{1/2} = 2,1 \cdot 10^5$ 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 **b** 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 **c** 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 **d** Bepaal uit figuur 2 de halveringstijd van technetium-100.
- na één halveringstijd is de activiteit met een factor 2 gedaald 1
 - tijd aflezen bij $A = 8,0 \cdot 10^4 \text{ Bq} \rightarrow t_{\frac{1}{2}} = 15,5 \text{ s}$ (marge 0,5 s) 1
- 4p **e** 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 $t = 10 \text{ s}$ is $13 \cdot 10^4 \text{ Bq}$ 1
 - $13 \cdot 10^4 \cdot 10 = 1,3 \cdot 10^6 \text{ Bq}$ (marge $0,1 \cdot 10^6$ kernen) 2
- 2p **f** 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 **a** 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 **b** 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 **c** 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 **d** Leg uit hoe dit uit de grafiek blijkt.
- op $t = 20 \text{ d}$ neemt de dosis minder snel toe dan op $t = 2 \text{ d}$ 1
 - op $t = 20$ dagen wordt er per seconde minder straling uitgezonden en is de activiteit dus kleiner dan op $t = 2 \text{ d}$ 1
- 3p **e** 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 **f** 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 **a** 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 **b** Geef daarvoor de reden.

- de dracht van β^- -straling is klein \rightarrow alleen de bovenste laag absorbeert straling 1

2p **c** 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 **d** Bereken na hoeveel jaar de bron vervangen moet worden.

- opzoeken: $t_{\frac{1}{2}} = 5,27$ 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 **e** 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 **a** 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 splijtingsproducten (mits verkregen via kloppende atoomnummers) 1
 - aantal kerndeeltjes voor en na de pijl gelijk 1
- 3p **b** 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 **c** Geef daarvan de reden.
- het doordringend vermogen van γ -straling is veel groter dan dat van β -straling 1
- 4p **d** 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
 - $t_{\text{max}} = \frac{E_{\text{abs max}}}{E_{\text{abs per seconde}}} \rightarrow t_{\text{max}} = \frac{7,5 \cdot 10^{-2}}{2,4 \cdot 10^5 \cdot 1,06 \cdot 10^{-13}} = 2,94811 \cdot 10^6 \text{ s}$ 1
 - $t_{\text{max}} = \frac{2,94811 \cdot 10^6}{24 \cdot 60 \cdot 60} = 34,1217 = 34 \text{ dagen}$ 1
- 3p **e** 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
 - $A = 1,2 \cdot 10^8 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^3 \rightarrow A = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Bq/m}^2$ 1
- 2p **f** Beantwoord de volgende twee vragen vanuit het oogpunt van stralingsbescherming:
- Wat is het bezwaar tegen het verbranden van de bomen? 1
 - Waarom is het begraven van de bomen onder een laag zand effectief? 1
 - bij het verbranden van bomen komen radioactieve stoffen in de lucht 1
 - door de laag zand wordt de intensiteit van de straling afgezwakt 1

De natuurlijke kernreactor van Oklo

- 2p **a** Leg uit waarom het percentage U-235 in uranium in de loop van de tijd is afgenomen.
- de halveringstijd van U-235 is kleiner dan die van U-238 1
 - de hoeveelheid U-235 neemt sneller af dan de hoeveelheid U-238 1

- 3p **b** Bepaal met behulp van de grafiek de totale massa die het uranium had op het moment dat de reactor begon te werken.
- figuur 2 lat zien dat 0,5% van het uranium is verdwenen door kernsplijting 1
 - $0,005 \cdot m_{\text{totaal}} = m_{\text{verdwenen}} \rightarrow 0,005 \cdot m_{\text{totaal}} = 1,1 \cdot 10^4$ 1
 - $m_{\text{totaal}} = \frac{1,1 \cdot 10^4}{0,005} = 2,2 \cdot 10^8 = 2 \cdot 10^8 \text{ kg}$ (1 significant cijfer) 1
- 4p **c** Bereken de hoeveelheid energie in J die de kernreactor van Oklo heeft geproduceerd.
- massa van een U-235 atoom: 235 u 1
 - $235 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} = 3,90227 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$ 1
 - aantal gespleten kernen: $\frac{1,1 \cdot 10^4}{3,90227 \cdot 10^{-25}} = 2,81887 \cdot 10^{28}$ 1
 - $E = 2,81887 \cdot 10^{28} \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 9,03266 \cdot 10^{17} = 9,0 \cdot 10^{17} \text{ J}$ 1
- 3p **d** Maak bovenstaande reactie compleet door de stippelijntjes in te vullen.
- ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{80}^{145}\text{Nd} + {}_{32}^{88}\text{Ge} + 3{}_0^1\text{n}$
 - juiste atoomnummers 1
 - juist massagetal 1
 - juist symbool 1

Examenvragen vwo

Nieronderzoek

- 4p **a** Bereken de massa van het ingebrachte ^{99m}Tc .
- gebruik $A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N$ met $t_{1/2} = 6,0 \cdot 60 \cdot 60 = 2,16 \cdot 10^4 \text{ s}$ 1
 - $39 \cdot 10^6 = \frac{\ln 2}{2,16 \cdot 10^4} \cdot N \rightarrow N = 1,21533 \cdot 10^{12}$ 1
 - massa van ^{99m}Tc kern: $99 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} = 1,64393 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$ 1
 - totale massa van ^{99m}Tc kernen:
 $1,21533 \cdot 10^{12} \cdot 1,64393 \cdot 10^{-25} = 1,99792 \cdot 10^{-13} = 2,0 \cdot 10^{-13} \text{ kg}$ 1
- 4p **b** Bereken het door de patiënt opgenomen dosisequivalent.
- $E_{\text{uit}} = N \cdot E_{\text{deeltje}} \rightarrow E_{\text{uit}} = 8,0 \cdot 10^{11} \cdot 140 \cdot 10^3 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 1,79444 \cdot 10^{-2} \text{ J}$ 1
 - $E_{\text{abs}} = \eta \cdot E_{\text{uit}} \rightarrow E_{\text{abs}} = 0,6 \cdot 1,79444 \cdot 10^{-2} = 1,07666 \cdot 10^{-2} \text{ J}$ 1
 - gebruik $H = w_R \cdot \frac{E_{\text{abs}}}{m}$ 1
 - $H = 1 \cdot \frac{1,07666 \cdot 10^{-2}}{70} = 1,53809 \cdot 10^{-4} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}$ 1

Brachytherapie

- 2p **a** Leg uit welke van deze drie soorten straling het zieke weefsel vlakbij het radium het meest aantast.
- α -straling heeft de grootste ioniserend vermogen 1
 - α -straling heeft ook de kleinste dracht, zodat veel stralingsenergie aan het zieke weefsel in de omgeving wordt afgestaan 1
- 3p **b** Geef de vergelijking voor dit verval.
- ${}^{192}_{77}\text{Ir} \rightarrow {}^0_{-1}\beta + {}^{192}_{78}\text{Pt}$
 - elektron (β -deeltje) rechts van de pijl 1
 - Pt als eindproduct (mits verkregen via kloppende atoomnummers) 1
 - aantal kerndeeltjes voor en na de pijl gelijk 1
- 4p **c** Bereken de gemiddelde activiteit die het ingebrachte iridium moet hebben.
- gebruik $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m} \rightarrow 2 = \frac{E_{\text{abs}}}{4 \cdot 10^{-3}} \rightarrow E_{\text{abs}} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ J}$ 1
 - $E_{\text{abs}} = N \cdot E_{\text{deeltje}} \rightarrow 8 \cdot 10^{-3} = N \cdot 9,6 \cdot 10^{-14} \rightarrow N = 8,33333 \cdot 10^{10}$ 1
 - $A_{\text{gem}} = \frac{\Delta N}{\Delta t} \rightarrow A_{\text{gem}} = \frac{8,33333 \cdot 10^{10}}{3,5 \cdot 60 \cdot 60} = 6,61376 \cdot 10^6 = 7 \cdot 10^6 \text{ Bq (1 s.c.)}$ 1
- 4p **d** Bereken hoe lang de behandeling dan moet duren.
- de halveringstijd van ${}^{192}_{77}\text{Ir}$ is 74 dagen 1

- inzicht $A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$ 1
- bereken factor $\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{28}{74}} = 0,769302$ 1
- na 4 weken moet er gedurende $\frac{3,5}{0,769302} = 4,54958 = 4,5$ uur worden bestraald 1

Nieuw element (aangepast)

- 2p **a** Leg uit waarom die snelheid zeer groot moet zijn.
- beide kernen hebben een positieve lading en stoten elkaar af 1
 - er is veel (kinetische) energie nodig om de afstotende krachten te overwinnen 1
- 3p **b** Ga na welke deeltjes vrijkomen. Stel daartoe de bijbehorende kernreactievergelijking op.
- ${}_{20}^{48}\text{Ca} + {}_{94}^{244}\text{Pu} \rightarrow {}_{114}^{289}\text{X} + 3 {}_0^1\text{n}$ 1
 - ${}_{20}^{48}\text{Ca}$ en ${}_{94}^{244}\text{Pu}$ links van de pijl 1
 - massagetal nieuwe kern goed 1
 - 3 neutronen rechts van de pijl 1
- 4p **c** Bereken met dit gegeven hoe lang het duurt totdat 75% van het aantal deeltjes van het gevormde element vervallen is.
- gebruik $N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$ met $t = 30$ s 1
 - $37 = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{30}{t_{1/2}}} \rightarrow {}^{10}\log 0,37 = {}^{10}\log \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \frac{30}{t_{1/2}} \rightarrow t_{1/2} = 20,9146$ s 1
 - $\frac{N}{N_0} = 0,25 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \rightarrow 2$ keer halveren 1
 - dus na $2 \cdot 20,9146 = 41,8293 = 42$ s is 75% vervallen 1

Protonentherapie

- 3p **a** Bepaal met behulp van figuur 1 tot welke indringdiepte de stopping power voor deze protonen in water kleiner is dan 10 MeV cm^{-1} .
- inzicht: de stopping power is gelijk aan de helling van de grafiek 1
 - bepaal het punt waar de helling gelijk is aan 10 MeV cm^{-1} 1
 - dit is het geval bij 22,5 cm (marge 1,5 cm) 1
- 3p **b** Leg uit dat de linkerkant van de plaat zich moet bevinden op een afstand van 26 cm van de plaats waar de protonen het water binnenkomen. Bespreek daarbij alle drie de eisen.

- de stralingsdosis is groot als de helling van figuur 1 groot is 1
 - bij water is de helling klein → kleine stralingsdosis en bij tumor is de helling groot → grote stralingsdosis 1
 - na 26 cm wordt er geen straling meer geabsorbeerd 1
- 2p **c** Welke beginenergie moeten de protonen hebben om opnieuw aan dezelfde eisen te voldoen?
- de grafiek verschuift 10 cm naar links 1
 - aflezen bij 0 cm → 150 MeV (tussen 150 MeV en 155 MeV) 1
- 2p **d** Maak met een berekening aannemelijk dat bij het rechter DNA-segment het aantal "interaction sites" goed is weergegeven.
- afstand tussen twee botsingen: $\frac{72}{800 \cdot 10^6} = 9,0 \cdot 10^{-8} \text{ cm} = 0,9 \text{ nm}$ 1
 - dikte van DNA-segment is 3 nm → wordt op $\frac{3}{0,9} = 3,3$ plaatsen geraakt → klopt 1
- 1p **e** Leid uit figuur 4 één voordeel af van protonenbestraling ten opzichte van bestraling met fotonen.
- bij fotonen wordt de meeste energie opgenomen in het gebied vóór de tumor en bij protonen niet
 - bij fotonen wordt ook energie opgenomen in het gebied achter de tumor en bij protonen niet
 - bij protonen wordt de meeste energie opgenomen in de tumor
- 4p **f** Bereken de grootte van de spanning, waarmee deze protonen versneld worden.
- $E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ en $\Delta E_{el} = q \cdot U$ 1
 - inzicht $E_{el} = \Delta E_k$ 1
 - opzoeken massa en lading van een proton 1
 - $1,60218 \cdot 10^{-19} \cdot U = \frac{1}{2} \cdot 1,67262 \cdot 10^{-27} \cdot (9,0 \cdot 10^6)^2 \rightarrow U = 4,22806 \cdot 10^5 = 4,2 \cdot 10^5 \text{ V}$ 1
- 1p **g** Hoe groot is de energie in MeV waarmee de protonen de versneller verlaten?
- $E_{el}(\text{eV}) = \frac{E_{el}(\text{J})}{q} \rightarrow E_{el}(\text{eV}) = \frac{q \cdot U}{q} = U = 4,2 \cdot 10^5 \text{ eV} = 0,42 \text{ MeV}$ 1
- 3p **h** Bepaal in figuur 5 de richting van het magnetisch veld in de afbuigmagneten. Geef daartoe eerst de richting van de stroomsterkte en van de lorentzkracht aan.
- de stroomrichting is gelijk aan de bewegingsrichting van de protonen 1
 - de lorentzkracht is gericht naar het middelpunt van de cirkel 1
 - magnetisch veld staat loodrecht op het vlak het papier in (kruisjes) 1
- 4p **i** Bereken de sterkte van het magnetisch veld die nodig is om deze protonen deze baan te laten doorlopen.
- inzicht $F_L = F_{mpz}$ 1
 - gebruik $F_L = B \cdot q \cdot v$ 1

- gebruik $F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v^2}{r}$ 1
- $B = \frac{m \cdot v}{q \cdot r} \rightarrow B = \frac{1,67262 \cdot 10^{-27} \cdot 9,0 \cdot 10^6}{1,60218 \cdot 10^{-19} \cdot 3,0} = 3,131895 \cdot 10^{-2} = 3,1 \cdot 10^{-2} \text{T}$ 1

Splijstof in kerncentrale (aangepast)

- 3p **a** Geef de reactievergelijking van deze splijting.
- ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{56}^{147}\text{Ba} + {}_{36}^{87}\text{Kr} + 2 \cdot {}_0^1\text{n}$
 - één neutron links van de pijl en twee neutronen rechts van de pijl 1
 - Kr als vervalproduct (mits verkregen via kloppende atoomnummers) 1
 - het aantal nucleonen links en rechts gelijk 1
- 5p **b** Bereken hoeveel kilogram uranium-235 hierbij per jaar wordt verbruikt.
- $E = P \cdot t \rightarrow E = 1,8 \cdot 10^9 \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 5,680368 \cdot 10^{18} \text{ J}$ 1
 - $0,21 \text{ u per reactie} \rightarrow 0,21 \cdot 1,49242 \cdot 10^{-10} = 3,13408 \cdot 10^{-11} \text{ J}$ 1
 - aantal reacties per jaar $\rightarrow \frac{5,680368 \cdot 10^{18}}{3,13408 \cdot 10^{-11}} = 1,81245 \cdot 10^{27}$ 1
 - per reactie één U-235 $\rightarrow m_{\text{per reactie}} = 235 \cdot 1,660539 \cdot 10^{-27} = 3,902267 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$ 1
 - kilo's per jaar $\rightarrow 1,81245 \cdot 10^{27} \cdot 3,902267 \cdot 10^{-25} = 7,072663 \cdot 10^2 = 7,1 \cdot 10^2 \text{ kg}$ 1
- 3p **c** Bepaal de waarde van de 'absorptie in het water' om de reactor in kritische toestand te laten werken.
- 1,5 van de 2,5 neutronen moet worden geabsorbeerd = 600 van de 1000 1
 - $160 + 225 + 90 = 474$ 1
 - absorptie door water is $600 - 475 = 125$ neutronen 1
- 4p **d** Bereken of er bij deze reactie energie vrijkomt of wordt geabsorbeerd én hoeveel MeV energie dat is.
- massa voor (u): $m_{\text{B}} - 5m_{\text{e}} + m_{\text{n}} = 10,012937 - 5m_{\text{e}} + 1,008665$ 1
 - massa na (u): $m_{\text{H}} - 1m_{\text{e}} + 2 \cdot m_{\text{He}} - 4m_{\text{e}} = 3,016049 + 2 \cdot 4,002603 - 5m_{\text{e}}$ 1
 - $m_{\text{voor}} - m_{\text{na}} = 0,000347 \text{ u} \rightarrow$ massa is omgezet in energie \rightarrow energie komt vrij 1
 - $0,000347 \text{ u} = 0,000347 \cdot 931,494 = 0,3232284 = 0,323 \text{ MeV}$ 1

Onderzoek van bot met calcium-47

- 4p **a** Bereken de massa in kg van het calcium-47.
- opzoeken: $t_{\frac{1}{2}} = 4,54 \text{ dagen} = 4,54 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 3,92256 \cdot 10^5 \text{ s}$ 1
 - $A = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} \cdot N \rightarrow 2,5 \cdot 10^8 = \frac{\ln 2}{3,92256 \cdot 10^5} \cdot N \rightarrow N = 1,41476 \cdot 10^{12}$ 1
 - massa Ca-47 is $46,95455 \text{ u} \rightarrow m = 1,41476 \cdot 10^{12} \cdot 46,95455 = 6,64296 \cdot 10^{13} \text{ u}$ 1
 - $m = 6,64296 \cdot 10^{13} \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} = 1,10305 \cdot 10^{-13} = 1,1 \cdot 10^{-13} \text{ kg}$ 1

- 1p **b** Waarom is het gewenst dat die alleen van recht onder komt?
 • hierdoor is vast te stellen van welke plaats in het bot de gammastraling afkomstig is 1
- 5p **c** Bereken de grootte van de correctiefactor voor die detector.
 • opzoeken: water : $d_{1/2} = 9,8 \text{ cm}$ | lucht : $d_{1/2} = 9,1 \cdot 10^3 \text{ cm}$ 1
 • gebruik: $I = I_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n$ met $n = \frac{d}{d_{1/2}}$ 1
 • spier: $\frac{I}{I_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{4,5}{9,8}} = 0,727$ | lucht: $\frac{I}{I_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{10}{9,1 \cdot 10^3}} = 0,999$ 1
 • samen laten ze door: $0,727 \cdot 0,999 = 0,726$ 1
 • de correctiefactor is $\frac{1}{0,726} = 1,3774 = 1,4$ 1
- 3p **d** Beredeneer aan de hand van het verloop van figuur 2 of de halveringstijd van scandium-47 groter of kleiner is dan de halveringstijd van calcium-47.
 • scandium-47 ontstaat uit het verval van calcium-47 1
 • de activiteit stijgt in het begin → scandium-47 vervalt sneller dan calcium-47 1
 • de halveringstijd van scandium-47 is kleiner dan die van calcium-47 1
- 2p **e** Beargumenteer dit voor deze beide technieken.
 • echoscopie geeft informatie over hoe geluid zich gedraagt in zachte weefsels en levert geen informatie uit de binnenkant van botten op 1
 • MRI-scan geeft informatie over de omgeving van protonen in zachte weefsels en levert geen informatie uit de binnenkant van botten op 1

PET-scan

- 2p **a** Geef de kernreactievergelijking van de productie van het C-11-isotoop uit N-14.
 • ${}^{14}_7\text{N} + {}^1_1\text{p} \rightarrow {}^{11}_6\text{C} + {}^4_2\alpha$
 • proton en N-14 voor de pijl 1
 • C-11 en α -deeltje na de pijl 1
- 3p **b** Bereken de orde van grootte van de tijdsduur Δt . Maak daarbij gebruik van een schatting en neem aan dat de fotonen overal bewegen met de lichtsnelheid in vacuüm.
 • schatting: de diameter van een hoofd is 20 cm (tussen 15 en 30 cm) 1
 • $\Delta x = v_{\text{gem}} \cdot \Delta t$ met $v_{\text{gem}} = c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ 1
 • $0,20 = 3,0 \cdot 10^8 \cdot \Delta t \rightarrow \Delta t = 6,67 \cdot 10^{-10} \text{ s}$
 • de orde van grootte van Δt is: $\Delta t \approx 1,0 \cdot 10^{-9} \text{ s}$ 1
- 4p **c** Bepaal de stralingsdosis die de hersenen ontvangen.
 • aflezen: op $t=0$: $A_0 = 400 \cdot 10^6 \text{ Bq}$ | aflezen: $t_{1/2} = 16 \text{ min} = 960 \text{ s}$ 1

- $A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N$

- $400 \cdot 10^6 = \frac{\ln 2}{960} \cdot N \rightarrow N = 5,54 \cdot 10^{11}$ kernen 1

- $E_{\text{abs}} = N \cdot E_{\text{deeltje}} \rightarrow E_{\text{abs}} = 5,54 \cdot 10^{11} \cdot 0,4 \cdot 10^8 \cdot 1,6022 \cdot 10^{-19} = 3,55 \cdot 10^{-2}$ J 1

- $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m} \rightarrow D = \frac{3,55 \cdot 10^{-2}}{1,5} = 2,367 \cdot 10^{-2} = 2 \cdot 10^{-2}$ Gy 1

OOK GOED

- ΔN is de oppervlakte onder de (A, t)-grafiek \rightarrow hokjes tellen \rightarrow 18,5 hokjes 1

- $\Delta N = 18,5 \cdot 50 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 60 = 5,55 \cdot 10^{11}$ 1

- $E_{\text{abs}} = N \cdot E_{\text{deeltje}} \rightarrow E_{\text{abs}} = 5,55 \cdot 10^{11} \cdot 0,4 \cdot 10^8 \cdot 1,6022 \cdot 10^{-19} = 3,56 \cdot 10^{-2}$ J 1

- $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m} \rightarrow D = \frac{3,56 \cdot 10^{-2}}{1,5} = 2,371 \cdot 10^{-2} = 2 \cdot 10^{-2}$ Gy 1

2p **d** Geef hiervoor, voor beide genoemde technieken, een reden. Gebruik de informatie in Binas tabel 29.

- een röntgenfoto geeft een beeld van de totale dichtheid en kan geen verschillende weefsels onderscheiden 1

- met echografie kun je niet binnen in de schedel van een patiënt waarnemingen doen 1