

14 Kernfysica

vwo

14.1 Het verval van atoomkernen

- 1***
- a** Uit welke deeltjes bestaat de atoomkern.
- uit protonen en uit neutronen
- b** Welke deeltjes bevinden zich in schillen om de atoomkern.
- de elektronen
- 2***
- a** Hoeveel protonen, neutronen en elektronen zijn er aanwezig in ${}^7\text{Li}$?
- zoek op: Li heeft atoomnummer 3 $\rightarrow$ 3 protonen
 - massagetal is 7 $\rightarrow 7 - 3 = 4$ neutronen
 - aantal elektronen = aantal protonen = 3
- b** Hoeveel protonen, neutronen en elektronen zijn er aanwezig in ${}^{40}\text{Ar}$?
- zoek op: Ar heeft atoomnummer 18 $\rightarrow$ 18 protonen
 - massagetal is 40 $\rightarrow 40 - 18 = 22$ neutronen
 - aantal elektronen = aantal protonen = 18
- c** Hoeveel protonen, neutronen en elektronen zijn er aanwezig in ${}^{238}\text{U}$?
- zoek op: U heeft atoomnummer 92 $\rightarrow$ 92 protonen
 - massagetal is 238 $\rightarrow 238 - 92 = 146$ neutronen
 - aantal elektronen = aantal protonen = 92
- 3***
- a** Bereken de lading van een Pu kern.
- $94 \cdot e = 94 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 1,506 \cdot 10^{-17} \text{ C}$
- b** Leg uit hoeveel elektronen een Pu atoom heeft.
- atoomnummer 94 dus er zijn 94 elektronen
- c** Bereken het aantal neutronen in een Pu-244 kern.
- massagetal is 244 $\rightarrow 244 - 94 = 150$ neutronen
- d** Zoek op welk type straling Pu-244 uitzendt.
- α -straling

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

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

- 6*** Vul de tabel in.

atoom	aantal protonen	massagetal	aantal neutronen
lithium Li	3	7	4
natrium Na	11	23	$23 - 11 = 12$
cobalt Co	27	$27 + 32 = 59$	32
goud Au	79	$79 + 118 = 197$	118

ijzer Fe	26	56	$56 - 26 = 30$
molybdeen Mo	42	99	$99 - 42 = 57$
lood Pb	82	208	$208 - 82 = 126$
uranium U	92	$92 + 146 = 238$	146
plutonium Pu	94	244	$244 - 94 = 150$

7*

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

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

8**

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

f Zoek op welke isotopen van dit element γ straling uitzenden.

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

9**

a Zoek van ieder isotoop op welke straling hij uitzendt.

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

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

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

10**

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

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

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

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

11***

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

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

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

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

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

12***

a Bereken hoeveel verschillende soorten Cl_2 moleculen er bestaan.

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

b Bereken de moleculemassa's van deze verschillende moleculen.

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

c Leg dit uit.

- bij centrifugeren gaan de zwaarste moleculen aan de buitenkant zitten

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

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

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

b Bereken de gemiddelde atoommassa van koper.

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

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

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

14**** a Leg uit wat een nucleair isomeer is.

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

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

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

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

- $^{81}_{37}\text{Rb} \rightarrow ^0_1\beta^+ + ^{81}_{36}\text{Kr}$
- het $^{81}_{37}\text{Rb}$ is een β^- -straler en niet een β^+ -straler → de reactie zal niet spontaan verlopen

d Geef de vervalvergelijking van krypton-81m.

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

15**** a Bepaal de richting van het magnetisch veld.

- β^- -deeltjes worden met verschillende snelheid uitgezonden
- de twee A bundels zijn de β^- -deeltjes
- linkerhandregel met $F_L = F_{\text{mpz}}$ [let op de negatieve lading van het \$\beta^-\$ -deeltje](#)
- B-veld komt het papier uit [geef aan met stippen](#)

b Leg uit of de snelheid van de deeltjes die de plaat bij A₁ treffen groter, kleiner of gelijk is aan de snelheid van de deeltjes die bij A₂ aankomen.

$$\bullet F_L = F_{mpz} \rightarrow B \cdot q \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r} \rightarrow r = \frac{m \cdot v}{B \cdot q}$$

- A₁ heeft kleinste staal
- m, B en q zijn hetzelfde
- r = klein $\leftrightarrow$ v = klein
- deeltjes bij A₁ hebben de kleinste v

c Leg uit of de lorentzkracht op de deeltjes die de plaat bij A₁ treffen groter, kleiner of gelijk is aan de lorentzkracht op de deeltjes die bij A₂ aankomen.

- r = klein $\leftrightarrow$ v = klein
- $F_L = B \cdot q \cdot v \rightarrow v = \text{klein} \leftrightarrow F_L = \text{klein}$
- deeltjes bij A₁ 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.

$$\bullet F_L = F_{mpz} \rightarrow B \cdot q \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r} \rightarrow r = \frac{m \cdot v}{B \cdot q} \rightarrow v = \frac{B \cdot q \cdot r}{m}$$

$$\bullet \frac{v_\beta}{v_\alpha} = \frac{B \cdot e \cdot r_\beta / m_\beta}{B \cdot 2e \cdot r_\alpha / m_\alpha} \quad \text{B en e wegstrepen en invullen } r_\alpha = 2 \cdot r_\beta$$

$$\bullet \frac{v_\beta}{v_\alpha} = \frac{r_\beta / m_\beta}{2 \cdot 2r_\beta / m_\alpha} \quad r_\beta \text{ wegstrepen}$$

$$\bullet \frac{v_\beta}{v_\alpha} = \frac{1/m_\beta}{4/m_\alpha} = \frac{1}{4} \cdot \frac{m_\alpha}{m_\beta}$$

$$\bullet \frac{m_\alpha}{m_{el}} = \frac{4,00 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27}}{9,10938 \cdot 10^{-31}} = 7291,56$$

$$\bullet \frac{v_\beta}{v_\alpha} = \frac{7291,56}{4} = 1822,89 = 1,8 \cdot 10^3 \quad \text{geen eenheid want een verhouding}$$

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

- bij B komen γ -fotonen en die hebben altijd de lichtsnelheid $3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

16+

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

- chloorionen zijn negatief
- A is de – pool en B is de + pool

b Leg uit waardoor dit wordt veroorzaakt.

- Cl heeft twee isotopen $^{35}_{17}\text{Cl}$ en $^{37}_{17}\text{Cl}$
- na ionisatie hebben beide ionen dezelfde negatieve lading
- $E_{\text{el}} = q \cdot U$ is voor beide isotopen hetzelfde
- $E_{\text{el}} = \Delta E_K \rightarrow q \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot v^2$
- $^{37}_{17}\text{Cl}$ heeft de grootste massa en krijgt dus de kleinste snelheid

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

- $E_{\text{el}} = \Delta E_K \rightarrow q \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ **de beginsnelheid is nul**
- de elektrische energie is voor beide ionen hetzelfde $\rightarrow \Delta E_K$ ook hetzelfde
- $\frac{1}{2} m_1 \cdot v_1^2 = \frac{1}{2} m_2 \cdot v_2^2 \rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2^2}{v_1^2}$
- $\frac{35}{37} = \frac{v_2^2}{v_1^2} \rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{35}{37}} = 0,9726 = 0,97$

d Bereken hoeveel procent de variatie is tussen de snelheden.

- $100 - 97,26 = 2,7 \%$

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

- negatieve lading $\rightarrow$ snelheid omgekeerd
- $F_L = F_{\text{mpz}} \rightarrow$ 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.

- $F_L = F_{\text{mpz}} \rightarrow B \cdot q \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r} \rightarrow v = \frac{B \cdot q \cdot r}{m} \rightarrow v^2 = \left(\frac{B \cdot q \cdot r}{m} \right)^2$
- $E_K = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \rightarrow E_K = \frac{1}{2} m \cdot \left(\frac{B \cdot q \cdot r}{m} \right)^2$

- $E_K = E_{el} = q \cdot U \rightarrow q \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot \left(\frac{B \cdot q \cdot r}{m} \right)^2 \rightarrow q \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot \frac{B^2 \cdot q^2 \cdot r^2}{m^2}$
- $r^2 = \frac{2 \cdot q \cdot U \cdot m}{B^2 \cdot q^2} = \frac{2 \cdot U}{B^2 \cdot q} \cdot m$
- $r = \sqrt{\frac{2 \cdot U}{B^2 \cdot q}} \cdot \sqrt{m} \rightarrow r = k \cdot \sqrt{m}$ waarin $k = \sqrt{\frac{2 \cdot U_{AB}}{q \cdot B^2}}$

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

- $r = k \cdot \sqrt{m}$ waarin $k = \sqrt{\frac{2 \cdot U_{AB}}{q \cdot B^2}}$
- k is voor beide isotopen gelijk
- $\frac{r_1}{r_2} = \frac{\sqrt{m_1}}{\sqrt{m_2}} = \sqrt{\frac{m_1}{m_2}}$
- $m_1 = \text{massa } {}^{37}_{17}\text{Cl} = 36,96590 \text{ u} \quad | \quad m_2 = \text{massa } {}^{35}_{17}\text{Cl} = 34,96885 \text{ u}$
- $\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{36,96590}{34,96885}} = 1,028158 \rightarrow$ 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 Cl is Cl-35
- de binnenste bundel heeft de grootste intensiteit

l Bereken de afstand tussen C en D

- $\frac{r_1}{r_2} = 1,02817$ r_1 hoort bij de grootste cirkel
- $r_1 - r_2 = \frac{1}{2} \cdot 0,98 = 0,49 \text{ cm} \rightarrow r_1 = 0,49 + r_2$
- $\frac{0,49 + r_2}{r_2} = 1,028$
- $0,49 + r_2 = 1,028 \cdot r_2 \rightarrow 0,49 = 0,028 \cdot r_2 \rightarrow r_2 = 17,5 \text{ cm}$
- de afstand tussen C en D is twee keer de straal $2 \cdot 17,5 = 35 \text{ cm}$

14.2 De snelheid van radioactief verval

Halveringstijd

- 1***
- a** Bereken het aantal neutronen in een U-238 kern.
- $\text{U-238} \rightarrow {}^{238}_{92}\text{U}$
 - aantal neutronen is $238 - 92 = 146$
- b** Bereken het aantal neutronen in een U-235 kern.
- $\text{U-235} \rightarrow {}^{235}_{92}\text{U}$
 - aantal neutronen is $235 - 92 = 143$
- c** Vergelijk de halveringstijden van U-238 en U-234 en verklaar hiermee waarom U-234 veel minder voorkomt op aarde.
- de halveringstijd van U-234 is veel kleiner dan die van U-238
 - U-234 valt sneller uit elkaar dan U-238 en komt daarom minder voor op aarde
- 2***
- a** Zoek de halveringstijden van S-31 en van Si-32 op in Binas.
- $\text{Si-31} \rightarrow t_{1/2}$ is 2,6 uur | $\text{Si-32} \rightarrow t_{1/2}$ is 150 jaar.
- b** Welke van deze isotopen is het stabielst?
- bij een grote halveringstijd is het verval langzaam
 - hoe groter de halveringstijd hoe stabielere de isotoop is
 - Si-32 is stabielere dan Si-31
- c** Verwacht je dat één van deze isotopen op aarde voorkomt?
- de halveringstijd is erg klein ten opzichte van de leeftijd van de aarde
 - op aarde komen deze isotopen niet voor **tenzij ze zijn ontstaan of zijn gemaakt**
- 3***
- a** Hoeveel radioactieve kernen zijn er aanwezig na 1 dag.
- na 1 dag is nog $\frac{1}{2}$ aanwezig $\rightarrow n = 1$
 - $N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow N = 1000 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^1 = 500$ kernen
- b** Hoeveel radioactieve kernen zijn er aanwezig na 2 dagen.
- na 2 dagen is nog $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ aanwezig $\rightarrow n = 2$
 - $N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow N = 1000 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 250$ kernen

c Hoeveel radioactieve kernen zijn er vervallen na 3 dagen.

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

4**

a Zoek de halveringstijd van P-30 op.

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

b Hoeveel kernen zijn er aanwezig na 20 minuten?

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

b Hoeveel kernen zijn er aanwezig na 40 minuten?

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

c Hoeveel kernen zijn er in 60 minuten vervallen?

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

5**

a Zoek de halveringstijd van P-33 op.

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

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

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

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

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

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

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

6***

a Hoe oud is de ploeg?

- $N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow 20 = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n$

bij % berekening stel je N_0 op 100

- $0,2 = \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow \log 0,2 = n \cdot \log 0,5$

gebruik $\log \left(\frac{1}{2}\right)^n = n \cdot \log \left(\frac{1}{2}\right)$

- $n = \frac{\log 0,2}{\log 0,5} = 2,32193$

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

- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow 2,32193 = \frac{t}{5730} \rightarrow t = 1,33046 \cdot 10^4 = 1,3 \cdot 10^4 \text{ jaar}$

7***

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

- 7 gram is vervallen $\rightarrow$ er is nog 1 gram aanwezig

- opzoeken $t_{1/2} = 8,0 \text{ dagen}$

- stel $N_0 = 8 \text{ (gram)}$ | $N = 1 \text{ (gram)}$

gebruik gram in plaats van aantal kernen

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

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

b Na hoeveel tijd is 95% van het toegediende ^{131}I verdwenen?

- stel $N_0 = 100$ | $N = 100 - 95 = 5$

bij % berekening stel je N_0 op 100

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

- $0,05 = \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow \log 0,05 = n \cdot \log 0,5$

gebruik $\log \left(\frac{1}{2}\right)^n = n \cdot \log \left(\frac{1}{2}\right)$

- $n = \frac{\log 0,05}{\log 0,5} = 4,32193$

- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow 4,32193 = \frac{t}{8} \rightarrow t = 34,575 = 36 \text{ dagen}$

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

- stel $N_0 = 100$ | $N = 15$

bij % berekening stel je N_0 op 100

- $N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow 15 = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n$

- $0,15 = \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow \log 0,15 = n \cdot \log 0,5$

gebruik $\log\left(\frac{1}{2}\right)^n = n \cdot \log\left(\frac{1}{2}\right)$

- $n = \frac{\log 0,15}{\log 0,5} = 2,73697$

- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow 2,73697 = \frac{24}{t_{1/2}} \rightarrow t_{1/2} = 8,76884 = 8,8 \text{ uur}$

b Bereken hoeveel procent van deze stof is vervallen na 12 uur.

- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow n = \frac{12}{8,76884} = 1,36848$

- $N = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{1,36848} = 38,73 \rightarrow \text{er is } 38,73\% \text{ aanwezig}$

stel N_0 op 100

- er is $100 - 38,73 = 61,27 = 61\%$ vervallen

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

- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow n = \frac{48}{8,76884} = 5,47393$

- $N = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{5,47393} = 2,25 \rightarrow \text{er is } 2,25\% \text{ aanwezig}$

stel N_0 op 100%

- er is $100 - 2,25 = 97,75 = 98\%$ vervallen

9*****a** Welke straling zendt deze isotoop uit?

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

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

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

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

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

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

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

- $N = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{10} = 9,765625 \cdot 10^{-2}$

bij % berekening stel je N_0 op 100

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

d In welk jaar is het aantal Cs-137 kernen afgenomen tot 1,0% van de oorspronkelijke hoeveelheid?

- stel $N_0 = 100$ | $N = 1$

bij % berekening stel je N_0 op 100

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

- $0,01 = \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow \log 0,01 = n \cdot \log 0,5$

gebruik $\log \left(\frac{1}{2}\right)^n = n \cdot \log \left(\frac{1}{2}\right)$

- $n = \frac{\log 0,01}{\log 0,5} = 6,64386$

- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow 6,64386 = \frac{t}{30} \rightarrow t = 199,316 = 199 \text{ jaar}$

- $1986 + 199 = 2185$

- in 2185 is het aantal cesium-137 kernen afgenomen tot 1,0%

10**

a Hoe groot de halveringstijd?

- op $t = 0$ zijn er 900 kernen
- na 4,0 uur zijn er 450 kernen
- de halveringstijd is 4,0 uur

b Hoeveel kernen zijn er na 24 uur aanwezig?

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

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

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

c Hoeveel kernen zijn er na 24 h vervallen?

- op $t = 0$ zijn er 900 kernen en na 24 uur zijn er 14 kernen
- na 24 uur zijn er $900 - 14 = 886$ kernen vervallen

11**

a Hoe groot is de halveringstijd?

- op $t = 0$ is er 0,18 gram

- na 23 uur is er 0,09 gram
- de halveringstijd is 23 uur

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

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

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

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

c Hoeveel gram is er in deze tijd vervallen?

- 3,125% aanwezig $\rightarrow 100 - 3,125 = 96,875\%$ is vervallen
- op $t = 0$ is er 0,18 gram
- $0,18 \cdot \frac{9,6875}{100} = 0,174375 = 0,17$ gram is vervallen

Activiteit

12*

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

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

b Wat is het symbool van de grootte activiteit?

- hoofdletter A

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

- de becquerel (Bq)

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

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

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

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

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

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

13*

a Wordt de activiteit van het ^{239}Pu in een mensenleven merkbaar kleiner?

- opzoeken: $t_{1/2} = 2,4 \cdot 10^4$ jaar
- in een mensenleven (100 jaar) is de activiteit nauwelijks kleiner geworden

b Hoelang zal het nog duren voordat de helft van het ^{239}Pu is verdwenen?

- de helft van het ^{239}Pu is verdwenen na 1 keer de halveringstijd
- dit duurt nog $2,4 \cdot 10^4$ jaar

14**

a Hoe groot is de activiteit van dit brokje stof?

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

b Hoe groot is de halveringstijd van deze stof?

- $A_0 = 1600 \quad | \quad A = 100$
- $\frac{A}{A_0} = \frac{100}{1600} = \frac{1}{16} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^4 \rightarrow n = 4$
- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow 4 = \frac{8}{t_{1/2}} \rightarrow t_{1/2} = \frac{8}{4} = 2,0 \text{ uur}$

15**

a Bereken de halveringstijd.

- stel $N_0 = 100 \quad | \quad N = 12,5$ bij % berekening stel je N_0 op 100
- $\frac{N}{N_0} = \frac{12,5}{100} = \frac{1}{8} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^3 \rightarrow n = 3$
- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow 3 = \frac{258}{t_{1/2}} \rightarrow t_{1/2} = \frac{258}{3} = 86 \text{ dagen}$

16**

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 .

- de activiteit is recht evenredig met het aantal aanwezige kernen
- de activiteit van 2 gram jood-131 is groter dan de activiteit van 1 gram jood-131

17***

a Hoelang geleden leefde deze Neanderthaler?

- stel $A_0 = 500 \quad | \quad A = 1$
- $A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow 1 = 500 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n$
- $2,0 \cdot 10^{-3} = \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow \log 2,0 \cdot 10^{-3} = n \cdot \log 0,5$ gebruik $\log \left(\frac{1}{2}\right)^n = n \cdot \log \left(\frac{1}{2}\right)$
- $n = \frac{\log 2,0 \cdot 10^{-3}}{\log 0,5} = 8,96578$
- opzoeken $^{14}_6\text{C} \rightarrow t_{1/2} = 5730 \text{ jaar}$

- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow 8,96578 = \frac{t}{5730} \rightarrow t = 5,13739 \cdot 10^4 = 5,14 \cdot 10^4 \text{ jaar}$

18***

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

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

b Bereken de halveringstijd van deze isotoop.

- een kwart van de oorspronkelijke hoeveelheid $\rightarrow \frac{1}{4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \rightarrow n = 2$
- $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow 2 = \frac{6}{t_{1/2}} \rightarrow t_{1/2} = \frac{6}{2} = 3 \text{ uur}$

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

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

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

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

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

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

19***

a Zoek de halveringstijden van broom-82 en nikkel-65 op.

- $^{82}_{35}\text{Br}$ heeft een halveringstijd van 35,3 uur
- $^{65}_{28}\text{Ni}$ heeft een halveringstijd van 2,5 uur

b Leg uit welk isotoop de grootste stabiliteit heeft.

- $^{82}_{35}\text{Br}$ heeft de grootste halveringstijd
- $^{82}_{35}\text{Br}$ heeft de grootste stabiliteit

c Leg uit welk isotoop de grootste activiteit heeft op $t=0$.

- op $t = 0$ hebben beide stoffen hetzelfde aantal kernen

- het isotoop met de kleinste $t_{1/2}$ heeft de grootste activiteit
- $^{65}_{28}\text{Ni}$ heeft op $t = 0$ de grootste activiteit

d Verklaar waarom de activiteit van beide monsters afneemt in de tijd.

- $t_{1/2}$ verandert niet $\rightarrow$ omdat N afneemt neemt ook de activiteit af

e Leg uit bij welk isotoop de afname het snelst verloopt.

- voor het isotoop met de kleinste $t_{1/2}$ verloopt de afname het snelst
- voor $^{65}_{28}\text{Ni}$ verloopt de afname het snelst want $^{65}_{28}\text{Ni}$ heeft de kleinste halveringstijd

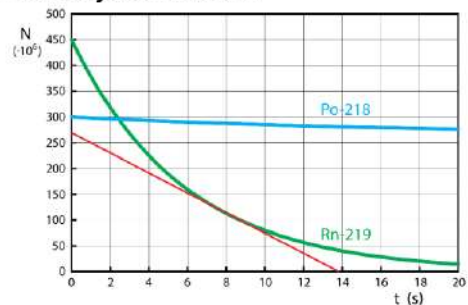
20***

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

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

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

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



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

- aflezen op $t = 8,0$ s $N = 110 \cdot 10^6$ kernen
- aflezen $t_{1/2} = 4,0$ 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 $t = 16$ s.

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

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

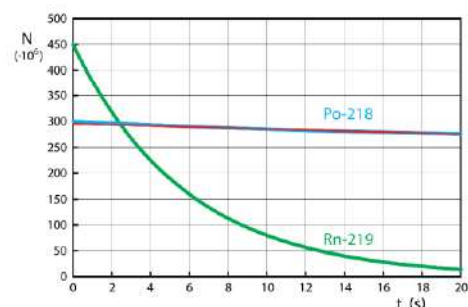
$$A_{\text{gem}} = \frac{420 \cdot 10^6}{16} = 2,6 \cdot 10^7 \text{ Bq}$$

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

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

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

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



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

- aflezen op $t=8,0$ s $N = 290 \cdot 10^6$ kernen
- opzoeken $t_{1/2} = 3,05$ min = 183 s

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

$$A = \frac{\ln 2}{183} \cdot 290 \cdot 10^6 = 1,1 \cdot 10^6 \text{ Bq}$$

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

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

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

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

21***

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

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

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

- aflezen: $t = 0$ s $\rightarrow A = 225$ Bq | $t = 10$ s $\rightarrow A = 28$ Bq
- aflezen $t_{1/2} = 4,0$ s

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

$$t = 0 \text{ s} \rightarrow 225 = \frac{\ln 2}{4} \cdot N \rightarrow N = 1298,4 \text{ kernen}$$

$$t = 10 \text{ s} \rightarrow 28 = \frac{\ln 2}{4} \cdot N \rightarrow N = 161,58 \text{ kernen}$$

$$\text{aantal vervallen: } \Delta N = 1298,43 - 161,58 = 1136,8 = 1,1 \cdot 10^3 \text{ kernen}$$

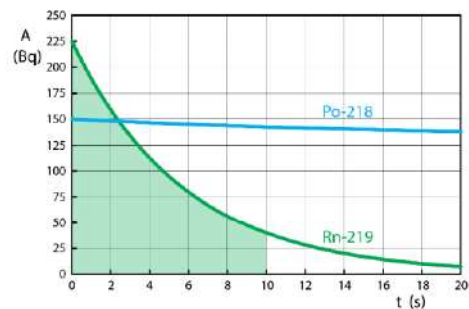
c Bepaal het aantal vervallen Po-218 kernen op $t = 10$ s met de oppervlakte-methode en met de afleesmethode.

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

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

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

- aflezen: $t = 0$ s $\rightarrow A = 150$ Bq | $t = 10$ s $\rightarrow A = 144$ Bq
- opzoeken $t_{1/2} = 3,05$ min = 183 s



- $A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N$
- $t = 0 \text{ s} \rightarrow 150 = \frac{\ln 2}{183} \cdot N \rightarrow N = 3,960 \cdot 10^4 \text{ kernen}$
- $t = 10 \text{ s} \rightarrow 144 = \frac{\ln 2}{183} \cdot N \rightarrow N = 3,802 \cdot 10^4 \text{ kernen}$
- $\Delta N = 3,960 \cdot 10^4 - 3,802 \cdot 10^4 = 1,58 \cdot 10^3 = 1,6 \cdot 10^3 \text{ kernen}$

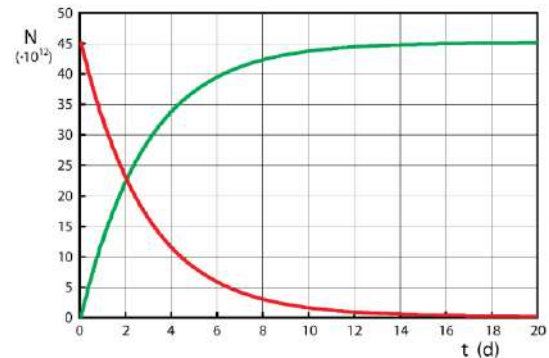
22***

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

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

b Bepaal de halveringstijd.

- aflezen: $N_0 = 45 \cdot 10^{12}$
- $0,5 \cdot N_0 = 22,5 \cdot 10^{12}$
- aflezen: $t_{1/2} = 2,0 \text{ dagen}$



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

- tijdens het verval neemt het aantal aanwezige kernen af
- N neemt af en $t_{1/2}$ blijft gelijk $\rightarrow A$ neemt af

d Bepaal de activiteit op $t = 5,0 \text{ d}$ met de afleesmethode.

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

e Bepaal de gemiddelde activiteit tussen $t = 0$ en $t = 2,0 \text{ d}$.

- aflezen: aantal vervallen kernen op $t = 2,0 \text{ d}$ is $22 \cdot 10^{12} \text{ kernen}$
- $\Delta N = -22 \cdot 10^{12} \mid \Delta t = 1,728 \cdot 10^5 \text{ s} \mid A_{\text{gem}} = \dots \text{ Bq}$
- $A_{\text{gem}} = -\frac{\Delta N}{\Delta t} \rightarrow A = \frac{22 \cdot 10^{12}}{1,728 \cdot 10^5} = 1,273 \cdot 10^8 = 1,3 \cdot 10^8 \text{ Bq}$

f Bepaal de gemiddelde activiteit tussen $t = 0$ en $t = 20 \text{ d}$.

- aflezen: aantal vervallen kernen op $t = 20 \text{ d}$ is $45 \cdot 10^{12} \text{ kernen}$
- $\Delta N = -45 \cdot 10^{12} \mid \Delta t = 1,728 \cdot 10^6 \text{ s} \mid A_{\text{gem}} = \dots \text{ Bq}$
- $A_{\text{gem}} = -\frac{\Delta N}{\Delta t} \rightarrow A = \frac{45 \cdot 10^{12}}{1,728 \cdot 10^6} = 2,604 \cdot 10^7 = 2,6 \cdot 10^7 \text{ Bq}$

23***

- a Wie van hen heeft gelijk? Isabel, Leonardo of geen van beiden?
- de activiteit is afhankelijk van de halveringstijd én van het aantal aanwezige kernen
 - geen van beiden heeft gelijk, want je weet niet hoeveel kernen er van iedere stof zijn
- b Heeft Jasmijn gelijk?
- nee, want je weet nog steeds niet hoeveel kernen er zijn in stof A en in stof B
 - wat je ook moet weten zijn de massa's van de atomen van de stoffen A en B

24***

- a Bereken de activiteit van 1,0 gram ^{131}I .
- in 1,0 g zitten $4,60 \cdot 10^{21}$ atomen
 - $A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N$
 - opzoeken: $t_{1/2} = 8,0$ dagen $= 8 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 6,912 \cdot 10^5$ s **tijd moet in seconde**
 - $A = \frac{\ln 2}{6,912 \cdot 10^5} \cdot 4,60 \cdot 10^{21} = 4,61296 \cdot 10^{15} = 4,6 \cdot 10^{15}$ Bq
- b Bereken de activiteit van 5,0 gram ^{131}I .
- 1 gram: $A = 4,61296 \cdot 10^{15}$ Bq
 - 5 gram $\rightarrow$ activiteit wordt 5 keer groter
 - 5 gram: $A = 5 \cdot 4,61296 \cdot 10^{15} = 2,30648 \cdot 10^{16} = 2,3 \cdot 10^{16}$ Bq
- c Bereken na hoeveel tijd 87,5% van het jood-131 is vervallen.
- 87,5% vervallen $\rightarrow$ 12,5% is nog aanwezig
 - stel $N_0 = 100$ | $N = 12,5$ **bij % berekening stel je N_0 op 100**
 - $\frac{N}{N_0} = \frac{12,5}{100} = \frac{1}{8} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^3 \rightarrow n = 3$
 - $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow 3 = \frac{t}{8} \rightarrow t = 3 \cdot 8 = 24$ dagen
- d Bereken na hoeveel tijd de activiteit is gedaald tot $2,0 \cdot 10^{13}$ Bq.
- $A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$
 - $2,0 \cdot 10^{13} = 4,61296 \cdot 10^{15} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{8,0}} \rightarrow 4,33561 \cdot 10^{-3} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{8,0}}$
 - $\log 4,33561 \cdot 10^{-3} = \frac{t}{8,0} \cdot \log 0,5$ **gebruik $\log \left(\frac{1}{2}\right)^n = n \cdot \log \left(\frac{1}{2}\right)$**
 - $t = 8,0 \cdot \frac{\log 4,335284 \cdot 10^{-3}}{\log 0,5} = 8,0 \cdot 7,84955 = 62,7964 = 63$ dagen

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

$$\bullet N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} \rightarrow 10 = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{8,0}} \rightarrow 0,1 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{8,0}}$$

$$\bullet \log 0,1 = \frac{t}{8,0} \cdot \log 0,5 \rightarrow t = 8,0 \cdot \frac{\log 0,1}{\log 0,5} = 8,0 \cdot 3,32193 = 26,5754 = 27 \text{ dagen}$$

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

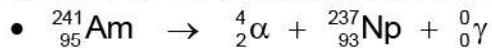
3**

- 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?

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

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

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

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

- $\left(\frac{1}{2}\right)^6 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{64}$
- $\left(\frac{1}{2}\right)^7 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{128}$
- het plaatje moet 7 keer de halveringsdikte hebben
- $n = \frac{d}{d_{\sqrt{2}}} \rightarrow 7 = \frac{d}{5} \rightarrow d = 7 \cdot 5 = 35 \text{ mm} \rightarrow$ het plaatje moet 35 mm dik zijn

6**

a Hoe dik is het plaatje?

- stel $I_0 = 100$ | $I = 6,25$ bij % berekening stel je I_0 op 100
- $\frac{I}{I_0} = \frac{6,25}{100} = \frac{1}{16} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^4 \rightarrow n = 4$
- $n = \frac{d}{d_{\sqrt{2}}} \rightarrow 4 = \frac{d}{2} \rightarrow d = 4 \cdot 2 = 8 \text{ mm} \rightarrow$ het plaatje moet 8,0 cm dik zijn

b Hoe dik is dit plaatje?

- $100 - 87,5 = 12,5 \rightarrow 12,5 \%$ wordt doorgelaten
- stel $I_0 = 100$ | $I = 12,5$ bij % berekening stel je I_0 op 100
- $\frac{I}{I_0} = \frac{12,5}{100} = \frac{1}{8} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^3 \rightarrow n = 3$
- $n = \frac{d}{d_{\sqrt{2}}} \rightarrow 3 = \frac{d}{2} \rightarrow d = 3 \cdot 2 = 6 \text{ mm} \rightarrow$ het plaatje moet 6,0 cm dik zijn

c Hoe dik is dit plaatje?

- stel $I_0 = 100$ | $I = 0,1953$ bij % berekening stel je I_0 op 100
- $\frac{I}{I_0} = \frac{0,1953}{100} = \frac{1}{512} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^9 \rightarrow n = 9$
- $n = \frac{d}{d_{\sqrt{2}}} \rightarrow 9 = \frac{d}{2} \rightarrow d = 9 \cdot 2 = 18 \text{ mm} \rightarrow$ het plaatje moet 18 cm dik zijn

7***

a Bereken de dikte van het eerste plaatje.

- stel $I_0 = 100$ | $I = 25$ bij % berekening stel je I_0 op 100
- $\frac{I}{I_0} = \frac{25}{100} = \frac{1}{4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \rightarrow n = 2$
- $n = \frac{d}{d_{\sqrt{2}}} \rightarrow 2 = \frac{d}{1,5} \rightarrow d = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ mm} \rightarrow$ het plaatje moet 3,0 cm dik zijn

b Bereken de dikte van het tweede plaatje.

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

8***

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

- plaatje A $n = \frac{d}{d_{1/2}} \rightarrow n = \frac{3}{2} \rightarrow n = 1,5$
- plaatje B $n = \frac{d}{d_{1/2}} \rightarrow n = \frac{12}{5} \rightarrow n = 2,4$
- $n_{\text{totaal}} = 1,5 + 2,4 = 3,9 \rightarrow$ de γ -stralen gaan door 3,9 keer de halveringsdikte
- $I = I_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow I = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{3,9} = 6,69858$ bij % berekening stel je I_0 op 100
- 6,7% van de straling komt in de detector

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

- plaatje A $n = \frac{d}{d_{1/2}} \rightarrow n = \frac{9}{2} \rightarrow n = 4,5$
- plaatje B $n = \frac{d}{d_{1/2}} \rightarrow n = \frac{4}{5} \rightarrow n = 0,8$
- $n_{\text{totaal}} = 4,5 + 0,8 = 5,3 \rightarrow$ de γ -stralen gaan door 5,3 keer de halveringsdikte
- $I = I_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow I = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{5,3} = 2,53829$ bij % berekening stel je I_0 op 100
- 2,5% van de straling komt in de detector

9***

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

- opzoeken $d_{1/2} = 0,0106 \text{ cm}$
- $n = \frac{d}{d_{1/2}} \rightarrow n = \frac{0,050}{0,0106} = 4,71698$
- $I = I_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow I = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{4,71698} = 3,80231$ bij % berekening stel je I_0 op 100
- 3,8 % wordt doorgelaten $\rightarrow 100 - 3,8 = 96,2 = 96 \%$ wordt tegengehouden

10***

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

11****

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

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**

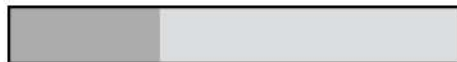
- a Teken de verkleuring van het stralingsgevoelige materiaal bij blootstelling aan uitsluitend β -straling.



- 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.

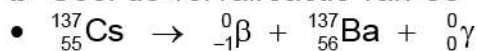


3***

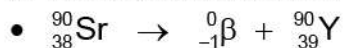
- a Leg uit waarom het niet zinvol is om badges te maken die gevoelig zijn voor α -straling.

- de dracht van α -deeltjes in lucht is erg klein
- de α -straling is al geabsorbeerd voordat het de badge bereikt

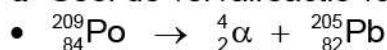
- b Geef de vervalreactie van Cs-137.



- c Geef de vervalreactie van Sr-90.



- d Geef de vervalreactie van Po-209.



- c Leg uit welke van deze drie stoffen je het beste kunt gebruiken om de badges te testen.

- Sr-90 is het beste omdat het van de drie stoffen de enige is die alleen β^- -straling uitzendt

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 vanwege de kleine halveringsdikte
- b** Leg uit waarom ze een gasmasker dragen.
- stofdeeltjes kunnen α -stralers bevatten
 - bij het inademen van α -stralers worden de longen beschadigd
- c** Leg uit waarom een gasmasker voor hen niet nodig is.
- in het ziekenhuis zijn geen stofdeeltjes met α -stralers aanwezig

- 2****
- a** Leg uit of er bij deze methode alfastraling of bètastraling wordt gebruikt.
- α -straling heeft een klein doordringend vermogen en kan niet door de wand van de metalen capsule
- b** Geef de reactievergelijkingen voor het verval van Ra-226 en van Co-60.
- ${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^4_2\alpha + {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^0_0\gamma$
 - ${}^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow {}^0_{-1}\beta + {}^{60}_{28}\text{Ni} + {}^0_0\gamma$
- c** Noem de belangrijkste verschillen tussen het gebruik van Ra-226 en Co-60.
- bij Ra-226 komt alleen γ -straling buiten de capsule, bij Co-60 is er ook β^- -straling
 - de halveringstijd van Ra-226 is 1600 jaar en van Co-60 is 5,27 jaar

- 3****
- a** Bereken de equivalente dosis die de monteur na 1,0 uur werken ontvangt.
- $E_{\text{abs}} = 60 \cdot 60 \cdot 1,0 \cdot 10^{-7} = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ J per uur} \quad | \quad m = 90 \text{ kg} \quad | \quad D = \dots \text{ Gy}$
 - $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m} \rightarrow D = \frac{3,6 \cdot 10^{-4}}{90} = 4,0 \cdot 10^{-6} \text{ Gy}$
 - $H = w_R \cdot D$ met $w_R = 20$ voor α -straling
 - $H = 20 \cdot 4,0 \cdot 10^{-6} = 8,0 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$
- b** Bereken de equivalente dosis die de monteur in één jaar ontvangt.
- 5 uur per dag 150 dagen per jaar is 750 uur per jaar
 - per uur: $H = 8,0 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$
 - per jaar: $H = 750 \cdot 8,0 \cdot 10^{-5} = 6,0 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}$
- c** Hoe groot is de dosislimiet die iemand beroepshalve mag ontvangen?
- opzoeken: beroepshalve vanaf 18 jaar per jaar $\rightarrow 20 \text{ mSv}$
- d** Voldoet de monteur aan deze dosislimiet?
- de monteur ontvangt per jaar $6,0 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}$
 - dit is 60 mSv per jaar $\rightarrow$ de monteur voldoet niet aan de dosislimiet

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

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

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

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

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

b Bereken de activiteit van de stralingsbron.

- $E_{\text{deeltje}} = 0,40 \cdot 10^6 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 6,40872 \cdot 10^{-14} \text{ J}$

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

- $0,15 \cdot 10^{-6} = A \cdot 6,40872 \cdot 10^{-14} \rightarrow A = 2,34056 \cdot 10^6 = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Bq}$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- 25% van de straling wordt doorgelaten is $\frac{1}{4}$ deel

- een uur heeft 4 kwartier $\rightarrow$ 4 keer zo veel tijd

- de dosis blijft gelijk $\rightarrow D = 7,5 \cdot 10^{-8} \text{ Gy}$

7*****a** Bereken de equivalente dosis die ze in een jaar ontvangt.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

9*****a** Bereken de stralingsdosis die de huid ontvangt.

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

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

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

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

b Bereken de ontvangen equivalente dosis.

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

- $H = w_R \cdot D$

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

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

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

d Ga na of de ontvangen equivalente dosis is toegestaan volgens de Nederlandse wet.

- maximaal toelaatbare equivalente dosis is $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Sv}$ per jaar

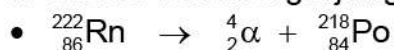
- de ontvangen equivalente dosis is meer dan de jaardosis en is dus niet toegestaan

10****a** Word je radioactief besmet als je uit uraniumglas drinkt?

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

b Word je radioactief bestraald als je uit uraniumglas drinkt?

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

11*****a** Stel de vervalvergelijking van radon-222 op.**b** Toon aan dat de activiteit van radon-222 van de ingeademde huiskamerlucht per kubieke meter 24 Bq bedraagt.

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

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

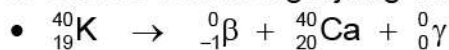
- $P_{\text{bron}} = A \cdot E_{\text{deeltje}} \rightarrow 5,3 \cdot 10^{-14} = A \cdot 8,78954 \cdot 10^{-13} \rightarrow A = 6,02989 \cdot 10^{-2} \text{ Bq}$

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

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

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

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



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

- aantal kaliumatomen in de spieren $\rightarrow 98 \cdot 1,54 \cdot 10^{22} = 1,5092 \cdot 10^{24}$
- aantal kalium-40 atomen $\rightarrow \frac{0,012}{100} \cdot 1,5092 \cdot 10^{24} = 1,81104 \cdot 10^{20}$
- halveringstijd $\rightarrow 1,28 \cdot 10^9 \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 4,03937 \cdot 10^{16} \text{ s}$
- $A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N$
- $A = \frac{\ln 2}{4,03937 \cdot 10^{16}} \cdot 1,81104 \cdot 10^{20} = 3,10771 \cdot 10^3 = 3,1 \cdot 10^3 \text{ Bq}$

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

- opzoeken β^- -deeltje heeft 1,33 MeV energie
- $E_{\text{deeltje}} = 1,33 \cdot 10^6 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 2,1309 \cdot 10^{-13} \text{ J}$
- $A = 3,10771 \cdot 10^3 \text{ Bq} \quad | \quad E_{\text{deeltje}} = 2,1309 \cdot 10^{-13} \text{ J} \quad | \quad P = \dots \text{ J/s}$
- $P = A \cdot E_{\text{deeltje}} \rightarrow P = 3,10771 \cdot 10^3 \cdot 2,1309 \cdot 10^{-13} = 6,62222 \cdot 10^{-10} \text{ J/s}$
- energie per jaar $\rightarrow E = 6,62222 \cdot 10^{-10} \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 2,08981 \cdot 10^{-2} \text{ J}$
- geabsorbeerde energie per jaar $\rightarrow E_{\text{abs}} = 0,33 \cdot 2,08981 \cdot 10^{-2} = 6,89638 \cdot 10^{-3} \text{ J}$
- $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m}$
- $D = \frac{6,89638 \cdot 10^{-3}}{30} = 2,29879 \cdot 10^{-4} = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ Gy}$

13**** a Leg uit waarom dit het geval is.

- jodium-131 verdwijnt door twee onafhankelijke processen: radioactief verval en biologische afscheiding

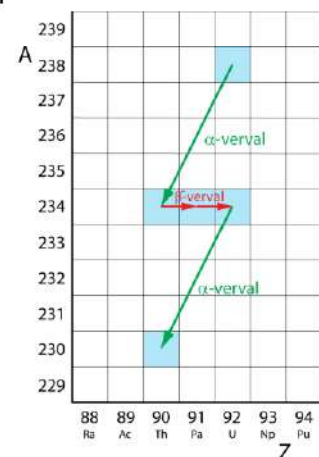
- de hoeveelheid I-131 is door beide processen samen sneller gehalveerd dan door één van de processen afzonderlijk
- b** Beredeneer dat de activiteit van het opgenomen jodium-131 na 24 dagen $1/8 A_0$ zou bedragen als er geen biologische uitscheiding zou zijn.
- de natuurkundige halveringstijd van I-131 is 8,0 dagen
 - 24 dagen = $24 / 8,0 = 3$ keer de halveringstijd
 - 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 $1/32 A_0$ is 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 door radioactief verval
 - van de oorspronkelijk hoeveelheid is er $\frac{1}{4} \cdot \frac{1}{8} = \frac{1}{32}$ deel over
 - de activiteit is recht evenredig met het aantal aanwezige kernen
 - de activiteit is $1/32$ deel van de oorspronkelijk activiteit = $1/32 A_0$

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



2***

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

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

3***

- a Beredeneer bij hoeveel stappen in de vervalreeks een α -deeltje wordt uitgezonden.
- massa gaat van 212 naar 208
 - verschil is 4
 - er wordt 1 keer een α -deeltje uitgezonden
- b Beredeneer bij hoeveel stappen in de vervalreeks een β^- -deeltje wordt uitgezonden.
- bismut heeft atoomnummer 83 | lood heeft atoomnummer 82
 - het atoomnummer neemt met 1 af
 - door het uitzenden van één α -deeltjes neemt atoomnummer met 2 af
 - bij het uitzenden van een β^- -deeltje neemt het atoomnummer met 1 toe
 - er moet 1 β^- -deeltje worden uitgezonden

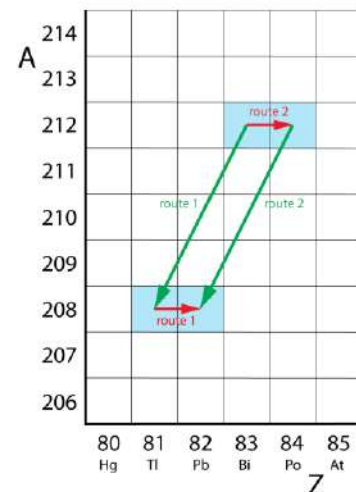
- c Geef de vervalketen waarbij eerst een α -deeltje wordt uitgezonden.

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

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

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

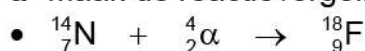
- e Geef in het (A, Z)-diagram de isotopen aan die betrokken zijn bij deze vervalketen en teken de pijlen voor beide vervalketen.



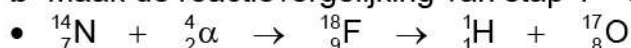
Gestimuleerde reacties

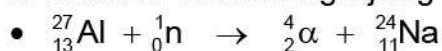
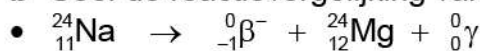
4**

- a Maak de reactievergelijking van stap 1 compleet:

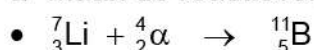


- b Maak de reactievergelijking van stap 1 + stap 2 compleet.

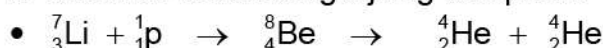
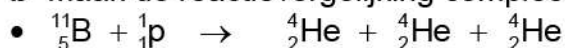
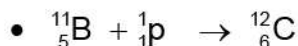


5****a** Maak de reactievergelijking compleet.**b** Geef de reactievergelijking van deze spontane reactie.**c** Controleer of het reactieproduct (de dochterkern) een stabiel isotoop is.

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

6****a** Maak de reactievergelijking compleet.**b** Controleer of het reactieproduct een stabiel isotoop is.

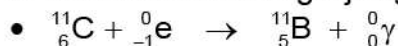
- er ontstaat ${}_{5}^{11}\text{B}$ en dit is een stabiel isotoop

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

K-vangst

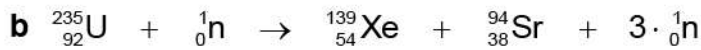
8****a** Leg uit wat met K-vangst wordt bedoeld.

- 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
- de energie die hierbij vrijkomt wordt uitgezonden als röntgenstraling

b Stel de reactievergelijking op.**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 → dit geeft twee energiewaarden
- een sprong van de L-schil naar de K-schil wordt opgevolgd door een sprong van de M-schil naar de L-schil → dit geeft de derde energiewaarde

14.7 Massa en energie



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

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

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

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

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

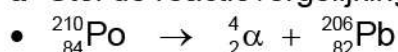
- $E = m \cdot c^2$ met $m = 1 \text{ kg} \rightarrow E = 1 \cdot (3,0 \cdot 10^8)^2 = 9,0 \cdot 10^{16} \text{ J}$
- aantal m^3 stookolie per jaar $\rightarrow \frac{9,0 \cdot 10^{16}}{40 \cdot 10^9} = 2,25 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
- aantal liter stookolie per jaar $\rightarrow 2,25 \cdot 10^6 \cdot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

Massadefect

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

- ${}^7_3\text{Li} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^3_1\text{H}$
- BEGIN massa Li-7 kern $7,016004 - 3 \cdot m_e$ massa's uitgedrukt in u
- EIND massa He-4 kern $4,002603 - 2 \cdot m_e$ + massa H^1 -kern $1,007825 - m_e$ = $7,016929 - 3 \cdot m_e$
- EIND - BEGIN 3 $\cdot m_e$ valt tegen elkaar weg
- $7,016929 - 7,016004 = 9,25 \cdot 10^{-4} \text{ u}$ plusteken omdat massa ontstaat
- massa ontstaat $\rightarrow$ het proces kan niet spontaan verlopen

4**** a Stel de reactievergelijking op van het radioactief verval.



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 wordt toegevoegd

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

- BEGIN massa Po-210 kern $209,98286 - 84 \cdot m_e$ *massa's uitgedrukt in u*
- EIND massa He-4 kern + massa Pb-206 kern
- $4,002603 - 2 \cdot m_e + 205,97444 - 82 \cdot m_e = 209,9770 - 84 \cdot m_e$
- EIND – BEGIN *$84 \cdot m_e$ valt tegen elkaar weg*
 $209,9770 - 209,98286 = -5,86 \cdot 10^{-3} \text{ u}$ *massa verdwijnt dus spontaan proces*

d Bereken uit het massadefect de hoeveelheid vrijkomende energie in MeV.

- $1 \text{ u} = 931,4941 \text{ MeV}$ *Binas tabel 7*
- $5,86 \cdot 10^{-3} \cdot 931,4941 = 5,4586 = 5,46 \text{ MeV}$

e Vergelijk de vrijgemaakte energie met de energie van het uitgezonden α -deeltje volgens Binas 25 en leg uit waarom de berekende waarde hiervan afwijkt.

- volgen Binas 25 krijgt het α -deeltje 5,4 MeV energie
- het verschil is 0,06 MeV
 - niet alleen het α -deeltje krijgt kinetische energie maar ook de Pb-206 kern
 - de Pb-206 kern wordt gevormd in een aangeslagen toestand

5****

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

- ${}_{93}^{237}\text{Np} \rightarrow {}_2^4\alpha + {}_{91}^{233}\text{Pa}$
- BEGIN massa Np-237 kern $\rightarrow 237,04817 - 93 \cdot m_e$ *massa uitgedrukt in u*
- EIND massa He-4 kern + massa Pa-233 kern
 $4,002603 - 2 \cdot m_e + 233,04024 - 91 \cdot m_e = 237,042843 - 93 \cdot m_e$
- EIND – BEGIN *$93 \cdot m_e$ valt tegen elkaar weg*
 $237,042843 - 237,04817 = -5,327 \cdot 10^{-3} \text{ u}$

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

- ${}_{93}^{239}\text{Np} \rightarrow {}_{-1}^0\beta + {}_{94}^{239}\text{Pu}$
- BEGIN massa Np-239 kern $\rightarrow 239,05293 - 93 \cdot m_e$ *massa uitgedrukt in u*
- EIND massa β^- -deeltje + massa Pu-239 kern
 $m_e + 239,05216 - 94 \cdot m_e = 239,05216 - 93 \cdot m_e$
- EIND – BEGIN *$93 \cdot m_e$ valt tegen elkaar weg*
 $239,05216 - 239,05293 = -7,7 \cdot 10^{-4} \text{ u}$

c Beredeneer of deze vervalprocessen spontaan kunnen verlopen.

- massa wordt omgezet in energie $\rightarrow$ beide processen zijn spontaan

6***

a Bepaal met welke deeltjes het beryllium is beschoten.

- ${}^9_4\text{Be} + ? \rightarrow {}^7_3\text{Li} + {}^4_2\alpha$
- $? = {}^2_1\text{H}$

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

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

c Bereken het massadefect.

- er is $9,7 - 2,5 = 7,2 \text{ MeV}$ kinetische energie ontstaan
- $1 \text{ u} = 931,4941 \text{ MeV}$
- $7,2 \text{ MeV} = \frac{7,2}{931,4941} = 7,72952 \cdot 10^{-3} = 7,7 \cdot 10^{-3} \text{ u}$ is omgezet

Kernreactor

7***

a Bereken hoeveel neutronen er ontstaan.

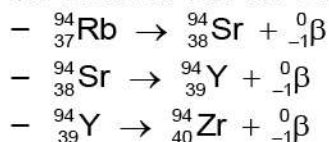
- X is de kern met massagetal 94, Y is de kern met massagetal 140
- reactievergelijking: ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{94}_? \text{X} + {}^{140}_{55}\text{Y} + ? \cdot {}^1_0\text{n}$
- massagetal begin = massagetal eind $\rightarrow 236 = 94 + 140 + ? \rightarrow ? = 2$
- er ontstaan twee neutronen

b Stel de vergelijking van deze kernreactie op.

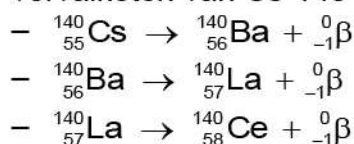
- X of Y is een cesiumkern
- cesium heeft atoomnummer 55
- bij grotere kernen zijn er altijd meer neutronen dan protonen
- kern Y is Cs
- ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{94}_? \text{X} + {}^{140}_{55}\text{Cs} + 2 \cdot {}^1_0\text{n}$
- lading begin = lading eind
- $92 = ? +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

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 $235,04392 - 92 \cdot m_e + 1,008665$
- EIND $89,90774 - 38 \cdot m_e + 143,93823 - 54 \cdot m_e + 2 \cdot 1,008665$
- EIND - BEGIN $92 \cdot m_e$ valt tegen elkaar weg
- $(89,90774 + 143,93823 + 2 \cdot 1,008665) - (235,04392 + 1,008665) =$
 $235,863300 - 236,052585 = -0,189285 \text{ u}$ minteken want massa verdwijnt
- massadefect $0,189285 \text{ u} = 3,14315 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$
- 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 $6,02214 \cdot 10^{23} \cdot 3,14315 \cdot 10^{-28} = 1,89285 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$ massa in energie omgezet
- $E = m \cdot c^2 \rightarrow E = 1,89285 \cdot 10^{-4} \cdot (2,99792 \cdot 10^8)^2 = 1,7012 \cdot 10^{13} \text{ J}$

Examenvragen havo

Radongas

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

Hartfoto's

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

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

Stralingsbescherming (aangepast)

- 2p **1** Leg uit waarom het niet zinvol is om badges te maken die gevoelig zijn voor α -straling.
- de dracht van α -deeltjes in lucht is erg klein 1
 - de α -straling is al geabsorbeerd voordat het de badge bereikt 1
- 3p **2** Geef de vervalreactie van Cs-137.
- $^{137}_{55}\text{Cs} \rightarrow ^0_{-1}\beta + ^{137}_{56}\text{Ba} + ^0_0\gamma$
 - elektron rechts van de pijl 1
 - Ba als vervalproduct (mits verkregen via kloppende atoomnummers) 1
 - aantal nucleonen voor en na de reactiepijl gelijk 1
- 2p **3** Leg uit welke van deze drie stoffen het best gebruikt kan worden om de badges te testen.
- Sr-90 is het beste omdat het van de drie stoffen de enige is die alleen β^- -straling uitzendt 2
- 4p **4** Bereken hoeveel procent van de straling door het 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 **5** Bereken de stralingsdosis die de spiermassa ontvangt.
- $E_{\text{bron}} = P \cdot t \rightarrow E_{\text{bron}} = 0,15 \cdot 10^{-6} \cdot 25 = 3,75 \cdot 10^{-6} \text{ J}$ 1
 - $E_{\text{abs}} = 0,73 \cdot E_{\text{bron}} \rightarrow E_{\text{abs}} = 0,73 \cdot 3,75 \cdot 10^{-6} = 2,7375 \cdot 10^{-6} \text{ J}$ 1
 - gebruik $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m}$ 1
 - $D = \frac{2,7375 \cdot 10^{-6}}{12} = 2,28125 \cdot 10^{-7} = 2,3 \cdot 10^{-7} \text{ Gy}$ 1

Castor container

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

Energie voor verre reizen (aangepast)

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

- $A = 2,1 \cdot 10^{16} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{8,0}{88}} \rightarrow A = 1,97175 \cdot 10^{16} \text{ Bq}$ 1

- $P = A \cdot E_{\text{deeltje}} \rightarrow 1,97175 \cdot 10^{16} \cdot 5,6 \cdot 10^6 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 1,7691 \cdot 10^4 \text{ W}$ 1

- nuttig vermogen is $0,034 \cdot 1,7691 \cdot 10^4 = 6,01494 \cdot 10^2 = 6,0 \cdot 10^2 \text{ W}$ 1

4p 4 Bereken het aantal plutonium-238 atomen dat in een periode van 50 jaar volgens NASA bij de longblaasjes van een volwassene zou zijn vervallen.

- gebruik $H = w_R \cdot D$ met $w_R = 20$ en $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m}$ 1

- $E_{\text{abs}} = D \cdot m = \frac{H}{w_R} \cdot m \rightarrow E_{\text{abs}} = \frac{1,0 \cdot 10^{-5}}{20} \cdot 0,075 = 3,75 \cdot 10^{-8} \text{ J}$ 1

- energie per α -deeltje $5,6 \text{ MeV} = 5,6 \cdot 10^6 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 8,97221 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ 1

- aantal vervallen α -deeltjes $\frac{3,75 \cdot 10^{-8}}{8,97221 \cdot 10^{-13}} = 4,17957 \cdot 10^4 = 4,2 \cdot 10^4$ deeltjes

4p 5 Leg aan de hand van twee verschillen tussen het α -verval van plutonium-238 en plutonium-239 uit welke van deze twee personen de grootste stralingsbelasting ten gevolge van α -straling ondervindt.

- de halveringstijd van $^{238}_{94}\text{Pu}$ is 88 jaar en van $^{239}_{94}\text{Pu}$ is $2,4 \cdot 10^4$ jaar 1

- bij hetzelfde aantal kernen heeft $^{239}_{94}\text{Pu}$ een veel kleinere activiteit 1

- voor $^{238}_{94}\text{Pu}$ is de energie van het uitgezonden α -deeltjes 5,6 MeV en voor $^{239}_{94}\text{Pu}$ is de energie van het uitgezonden α -deeltjes 5,2 MeV 1

- $^{239}_{94}\text{Pu}$ geeft een kleinere stralingsbelasting 1

Rookmelder

3p 1 Geef de vervalvergelijking van americium-241.

- $^{241}_{95}\text{Am} \rightarrow ^4_2\alpha + ^{237}_{93}\text{Np} + ^0_0\gamma$

- $^4_2\alpha$ rechts van de pijl 1

- $^{237}_{93}\text{Np}$ als vervalproduct 1

- aantal nucleonen voor en na de pijl gelijk 1

4p 2 Bereken de massa van het americium-241 dat in de rookmelder mag zitten om binnen de wettelijke grens te blijven.

- $t_{1/2} = 432 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 1,36236 \cdot 10^{10} \text{ s}$ 1

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

- $37 \cdot 10^3 = \frac{\ln 2}{1,36236 \cdot 10^{10}} \cdot N \rightarrow N = 7,27378 \cdot 10^{14}$ 1

- $m = N \cdot m_{\text{atoom}} \rightarrow m = 7,27378 \cdot 10^{14} \cdot 4,00 \cdot 10^{-25} = 2,9 \cdot 10^{-10} \text{ kg}$ 1

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

Technetium-99

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

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

Radioactieve slok

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

- na 6 dagen moet de activiteit ook zijn gehalveerd 1

5p **6** Bereken de activiteit van het I-131 in de periode die in figuur 2 is weergegeven. Bepaal daartoe eerst de hoeveelheid stralingsenergie die de schildklier per uur absorbeert.

- de toename van de dosis per uur is $D_{\text{per uur}} = \frac{E_{\text{abs - per uur}}}{m}$ 1
- toename van de dosis per uur is de steilheid van de grafiek 1
- $E_{\text{abs - per uur}} = D_{\text{per uur}} \cdot m \rightarrow E_{\text{abs - per uur}} = \frac{4,5}{8} \cdot 0,045 = 2,53125 \cdot 10^{-2} \text{ J}$ 1
- $E_{\text{abs}} = A \cdot E_{\text{deeltje}} \cdot t \rightarrow E_{\text{abs - per uur}} = A \cdot 3,0 \cdot 10^{-14} \cdot 60 \cdot 60$ 1
- $2,53125 \cdot 10^{-2} = A \cdot 3,0 \cdot 10^{-14} \cdot 60 \cdot 60 \rightarrow A = 2,34375 \cdot 10^8 = 2,3 \cdot 10^8 \text{ Bq}$ 1
(marge $0,1 \cdot 10^8 \text{ Bq}$)

Doorstralen van fruit

3p **1** Geef de vervalreactie van ^{60}Co (kobalt-60)

- $^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow ^0_{-1}\beta^- + ^{60}_{28}\text{Ni} + ^0_0\gamma$
- elektron (β^- -deeltje) rechts van de pijl 1
- Ni als eindproduct (mits verkregen via kloppende atoomnummers) 1
- aantal kerndeeltjes voor en na de pijl gelijk 1

1p **2** Geef daarvoor de reden.

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

2p **3** Bepaal de halveringsdikte van fruit voor de γ -straling van kobalt.

- inzicht: bij de halveringsdikte wordt 50% van de straling doorgelaten 1
- aflezen: deze dikte is 12 cm 1

3p **4** Bereken na hoeveel jaar de bron vervangen moet worden.

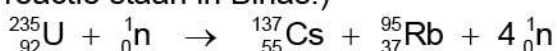
- opzoeken: $t_{1/2} = 5,27$ jaar 1
- inzicht: na drie keer de halveringstijd is er nog 12,5% activiteit over 1
- $3 \cdot 5,27 = 15,81 = 15,8$ jaar 1

2p **5** Beantwoord deze vraag. Licht je antwoord toe.

- inzicht dat atoomkernen niet veranderen bij het absorberen van γ -straling 1
- het bestraalde voedsel wordt niet radioactief 1

Tsjernobyl, ruim 20 jaar later

3p **1** Geef de reactievergelijking van deze kernreactie. (Niet alle isotopen in deze reactie staan in Binas.)



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

Koolstof-14-methode (aangepast)

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

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

Samarium-153

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

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

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

Lutetium-177 (aangepast)

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

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

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

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

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

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

Radioactieve rook

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

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

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

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

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

- inzicht dat gevraagd wordt $\frac{\text{massa Po} - 210 \text{ atomen}}{\text{totale massa}}$ 1

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

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

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

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

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

Examenvragen vwo

Nieronderzoek

- 4p 1 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 2 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 1 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 2 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 3 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 4 Bereken hoelang 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 1 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 2 Ga na welke deeltjes vrijkomen. Stel daartoe de bijbehorende kernreactievergelijking op.
- ${}_{20}^{48}\text{Ca} + {}_{94}^{244}\text{Pu} \rightarrow {}_{114}^{289}\text{X} + 3 {}_0^1\text{n}$
 - ${}_{20}^{48}\text{Ca}$ en ${}_{94}^{244}\text{Pu}$ links van de pijl 1
 - massagetal nieuwe kern goed 1
 - 3 neutronen rechts van de pijl 1
- 4p 3 Bereken met dit gegeven hoelang 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
 - $37 = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{30}{t_{1/2}}} \rightarrow \log 0,37 = \log \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \frac{30}{t_{1/2}} \rightarrow t_{1/2} = 20,9146$ 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 1 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 2 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 $\rightarrow$ kleine stralingsdosis en bij tumor is de helling groot $\rightarrow$ grote stralingsdosis 1

- na 26 cm wordt er geen straling meer geabsorbeerd 1
- 2p **3** 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 $\rightarrow$ 150 MeV (tussen 150 MeV en 155 MeV) 1
- 2p **4** 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 $\rightarrow$ wordt op $\frac{3}{0,9} = 3,3$ plaatsen geraakt $\rightarrow$ klopt 1
- 1p **5** 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 **6** Bereken de grootte van de spanning, waarmee deze protonen versneld worden.
- $\Delta E_K = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ en $\Delta E_{el} = q \cdot U$ 1
 - inzicht $\Delta E_K = -\Delta E_{el}$ 1
 - opzoeken massa en lading van een proton 1
 - $-1,6022 \cdot 10^{-19} \cdot U = \frac{1}{2} \cdot 1,6726 \cdot 10^{-27} \cdot (9,0 \cdot 10^6)^2 \rightarrow U = -4,2281 \cdot 10^5 = -4,2 \cdot 10^5 \text{ V}$ 1
- 1p **7** 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 **8** 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 **9** 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 $F_{mpz} = \frac{m \cdot v^2}{r}$ 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

Radondochters

- 3p **1** Beredeneer of radon-222 ontstaat uit thorium-232 of uit uraan-238. Beschouw daartoe het aantal nucleonen van de kernen.
- inzicht: uit Th-232 moeten 10 nucleonen vrijkomen en uit U-238 16 nucleonen 1
 - inzicht: uitgezonden alfadeeltjes bevatten 4 nucleonen 1
 - completeren $\rightarrow$ Rn-222 ontstaat uit U-238 (met 4 uitgezonden alfadeeltjes) 1
- Opmerking: Als de kandidaat de vraag toch beantwoordt door de vervalvergelijkingen op te schrijven: geen aftrek.**
- 2p **2** Leg uit:
- waarom in dat geval de activiteit van radon-222 uiteindelijk constant wordt;
 - dat elk van de radondochters dan dezelfde activiteit heeft als radon-222.
 - bij evenwicht ontstaan er evenveel Rn-222 kernen als dat er per seconde vervallen per s) 1
 - bij evenwicht geldt dit ook voor de radondochters $\rightarrow$ het aantal Rn-222 kernen dat per seconde vervalt is gelijk aan het aantal Po-218 kernen dat per seconde ontstaat en is ook gelijk aan het aantal Po-218 kernen dat per seconde vervalt, etc. 1
- 4p **3** Bereken de stralingsdosis die de longen ontvangen ten gevolge van alfastraling.
- er vervallen $2,6 \cdot 10^4$ Po-218 kernen en $2,6 \cdot 10^4 + 2,3 \cdot 10^5 + 1,7 \cdot 10^5 = 4,26 \cdot 10^5$ Po-214 kernen 1
 - iedere Po-218 geeft één Pb-214 en iedere Pb-214 geeft één Bi-214 en iedere Bi-214 geeft één Po-214
 - het verval van één Po-218 geeft 5,998 MeV energie en het verval van één Po-214 geeft 7,68 MeV energie 1
 - $5,998 \text{ MeV} = 5,998 \cdot 10^6 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 9,60988 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ 1
 - $7,68 \text{ MeV} = 7,68 \cdot 10^6 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 1,23047 \cdot 10^{-12} \text{ J}$ 1
 - $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m} \rightarrow D = \frac{2,6 \cdot 10^4 \cdot 9,61 \cdot 10^{-13} + 4,26 \cdot 10^5 \cdot 1,23 \cdot 10^{-12}}{2,5} = 2,2 \cdot 10^{-7} \text{ Gy}$ 1

PET-scan

- 2p **1** 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 **2** 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 **3** Bepaal de stralingsdosis die de hersenen ontvangen.
- aflezen: op $t=0$: $A_0 = 400 \cdot 10^6$ Bq | aflezen: $t_{1/2} = 16$ min = 960 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
 - $E_{\text{abs}} = N \cdot E_{\text{deeltje}} \rightarrow E_{\text{abs}} = 5,54 \cdot 10^{11} \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot 1,6022 \cdot 10^{-19} = 3,55 \cdot 10^{-2}$ 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
 - $E_{\text{abs}} = N \cdot E_{\text{deeltje}} \rightarrow E_{\text{abs}} = 5,55 \cdot 10^{11} \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot 1,6022 \cdot 10^{-19} = 3,56 \cdot 10^{-2}$ 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 **4** 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
- Splijtstof in kerncentrale (aangepast)**
- 3p **1** 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 **2** Bereken hoeveel kilogram uranium-235 hierbij per jaar wordt verbruikt.
- $E = P \cdot t \rightarrow E = 1,8 \cdot 10^9 \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 5,680368 \cdot 10^{16}$ J 1
 - 0,21 u per reactie $\rightarrow 0,21 \cdot 1,49242 \cdot 10^{-10} = 3,13408 \cdot 10^{-11}$ J 1
 - aantal reacties per jaar $\rightarrow \frac{5,680368 \cdot 10^{16}}{3,13408 \cdot 10^{-11}} = 1,81245 \cdot 10^{27}$ 1
 - per reactie één U-235 $\rightarrow m_{\text{per reactie}} = 235 \cdot 1,660539 \cdot 10^{-27} = 3,902267 \cdot 10^{-25}$ kg 1
 - kilo's per jaar $\rightarrow 1,81245 \cdot 10^{27} \cdot 3,902267 \cdot 10^{-25} = 7,072663 \cdot 10^2 = 7,1 \cdot 10^2$ kg 1
- 3p **3** 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 **4** Bereken of er bij deze reactie energie vrijkomt of wordt geabsorbeerd én hoeveel MeV energie dat is.
- massa voor (u): $m_B - 5m_e + m_n = 10,012937 - 5m_e + 1,008665$ 1
 - massa na (u): $m_H - 1m_e + 2 \cdot m_{He} - 4m_e = 3,016049 + 2 \cdot 4,002603 - 5m_e$ 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 **1** Bereken de massa in kg van het calcium-47.
- opzoeken: $t_{1/2} = 4,54 \text{ dagen} = 4,54 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 3,92256 \cdot 10^5 \text{ s}$ 1
 - $A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N \rightarrow 2,5 \cdot 10^6 = \frac{\ln 2}{3,92256 \cdot 10^5} \cdot N \rightarrow N = 1,41476 \cdot 10^{12}$ 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 **2** 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 **3** 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 **4** 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 $\rightarrow$ scandium-47 vervalst sneller dan calcium-47 1
 - de halveringstijd van scandium-47 is kleiner dan die van calcium-47 1
- 2p **5** 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

Inwendige bestraling (aangepast)

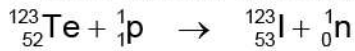
- 3p **1** Geef de beide reactievergelijkingen die leiden tot de vorming van I-125.
- $${}_{54}^{124}\text{Xe} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{54}^{125}\text{Xe} + ({}_0^0\gamma) \quad \text{en} \quad {}_{54}^{125}\text{Xe} \rightarrow {}_{53}^{125}\text{I} + {}_1^0\beta^+$$
- inzicht dat bij de eerste reactie het neutron links van de pijl staat en dat Xe-125 (met een gammafoton) gevormd wordt 1
 - de tweede reactie met I-125 als eindproduct 1
 - kloppende reactievergelijkingen **2^e reactievergelijking met K-vangst is ook goed** 1
- 5p **2** Bereken de massa I-125 in kg die daartoe tijdens de productie in één naaldje moet worden aangebracht.
- gebruik $A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} \rightarrow 17 \cdot 10^6 = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{10}{59}} \rightarrow A_0 = 1,91193 \cdot 10^7 \text{ Bq}$ 1
 - opzoeken $t_{1/2}$ en omrekenen is seconden $t_{1/2} = 59 \text{ d} = 59 \cdot 24 \cdot 3600 = 5734800 \text{ s}$ 1
 - gebruik $A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N \rightarrow 1,91193 \cdot 10^7 = \frac{\ln 2}{59 \cdot 24 \cdot 3600} \cdot N \rightarrow N = 1,40608 \cdot 10^{14}$ 1
 - $m = 1,40608 \cdot 10^{14} \cdot 124,905 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} = 2,91633 \cdot 10^{-21} = 2,9 \cdot 10^{-21} \text{ kg}$ 1
- OOK GOED**
- gebruik $A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N \rightarrow 17 \cdot 10^6 = \frac{\ln 2}{59 \cdot 24 \cdot 3600} \cdot N \rightarrow N = 1,25023 \cdot 10^{14}$ 1
 - opzoeken $t_{1/2}$ en omrekenen is seconden $t_{1/2} = 59 \text{ d} = 59 \cdot 24 \cdot 3600 = 5734800 \text{ s}$ 1
 - gebruik $N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} \rightarrow 1,25023 \cdot 10^{14} = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{10}{59}} \rightarrow N_0 = 1,40608 \cdot 10^{14}$ 1
 - inzicht $m = N_0 \cdot \text{atoommassa}$ 1
 - $m = 1,40608 \cdot 10^{14} \cdot 124,905 \cdot 1,660539 \cdot 10^{-27} = 2,91633 \cdot 10^{-11} = 2,9 \cdot 10^{-11} \text{ kg}$ 1
- 2p **3** Leg op grond van figuur 1 uit wie er gelijk heeft.
- na één jaar is vrijwel alle energie geabsorbeerd 1
 - dit houdt in dat de bron geen activiteit meer heeft → Theo heeft gelijk 1
- OOK GOED**
- de activiteit is evenredig met de dosistoename per tijdseenheid, en dus met de afgeleide van de grafiek 1
 - na één jaar is deze afgeleide, en dus ook de activiteit, vrijwel nul → Theo heeft gelijk 1
- 1p **4** Geef hiervoor de verklaring.
- dichtbij de tumor bepaalt de plaats van de losse staafjes de vorm van de isodoselijnen en op grote afstand bepaalt het totaal van de naaldjes de vorm van de isodoselijnen 1
- 3p **5** Leg voor elke leerling uit of die gelijk of ongelijk heeft.
- Erik heeft gelijk want de γ -fotonen die vrijkomen bij K-vangst voldoen aan de kwadratenwet 1
 - Myrthe heeft gelijk want niet geabsorbeerde γ -fotonen verlaten het lichaam en richten geen schade aan 1

- Frank heeft ongelijk want de tumor wordt niet radioactief bij bestraling met γ -fotonen

1

SPECT-scan bij parkinson

3p 1 Geef hiervan de reactievergelijking.



- Te-123 en een proton links van de pijl en I-123 rechts van de pijl
- neutron rechts van de pijl
- aantal nucleonen links en rechts gelijk

1

1

1

2p 2 Bereken welk percentage van het geproduceerde jood-123 na 24 uur vervallen is.

- gebruik $N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} \rightarrow N = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{24}{13,2}} \rightarrow N = 28,3578$
- er is $100 - 28,3578 = 71,6422 = 72\%$ vervallen

1

1

4p 3 Bereken de golflengte van het γ -foton in vacuüm.

- gebruik $E_f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$
- opzoeken $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$ en $c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
- omrekenen $160 \text{ keV} = 160 \cdot 10^3 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 2,56349 \cdot 10^{-14} \text{ J}$
- $2,56349 \cdot 10^{-14} = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{2,9979 \cdot 10^8}{\lambda} \rightarrow \lambda = 7,74898 \cdot 10^{-12} = 7,75 \cdot 10^{-12} \text{ m}$

1

1

1

1

3p 4 Bepaal dit verliespercentage met behulp van figuur 2.

- het verliespercentage is gekoppeld aan een verticaal stuk in de grafiek
- afname bepalen bij verticaal stuk $3,7 \mu\text{W} \rightarrow 2,9 \mu\text{W}$
- de afname is $\frac{3,7 - 2,9}{3,7} \cdot 100\% = 21,622 = 22\%$

1

1

1

4p 5 Bepaal de geabsorbeerde stralingsdosis na 50 uur met behulp van figuur 2.

- gebruik $D = \frac{E_{\text{abs}}}{m}$
- inzicht dat E_{abs} het oppervlak onder de grafiek is
- 21,5 hokjes met $0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 3600 = 9,0 \cdot 10^{-3} \text{ J}$ per hokje $\rightarrow 0,1935 \text{ J}$ (marge 0,02 J)
- completeren $D = \frac{0,1935}{70} = 2,76429 \cdot 10^{-3} = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ Gy}$

1

1

1

1

2p 6 Leg uit welke figuur, 3a of 3b, hoort bij de patiënt met parkinson.

- goed functionerende structuren voor dopaminetransport geven een sterk SPECT signaal
- de patiënt in figuur 3b heeft een zwakker SPECT signaal en heeft dus parkinson

1

1