

9 Kernfysica

3 havo

9.1 Radioactieve straling

- 1*** Een atoom is opgebouwd uit deeltjes.
- a** Uit welke deeltjes bestaat de atoomkern.
 - b** Welke deeltjes bevinden zich in schillen om de atoomkern.
- 2***
- a** Hoeveel protonen, neutronen en elektronen zijn er aanwezig in ${}^7\text{Li}$?
 - b** Hoeveel protonen, neutronen en elektronen zijn er aanwezig in ${}^{40}\text{Ar}$?
 - c** Hoeveel protonen, neutronen en elektronen zijn er aanwezig in ${}^{238}\text{U}$?
- 3*** De atoomkern van het radioactieve element plutonium (Pu) bevat veel kerndeeltjes. Een proton heeft een lading van $1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.
- a** Bereken de lading van een Pu kern.
 - b** Leg uit hoeveel elektronen een Pu atoom heeft.
 - c** Bereken het aantal neutronen in een Pu-244 kern.
 - d** Zoek op welk type straling Pu voornamelijk uitzendt.
- 4***
- a** Noem de drie verschillende soorten radioactieve straling.
 - b** Welke soort straling bestaat uit de zwaarste deeltjes?
 - c** Welke soort straling bestaat uit lichtdeeltjes (fotonen)?
 - d** Wat is het verschil tussen β^- -straling en β^+ -straling?
- 5*** Het element zuurstof (O) komt veel voor in de natuur.
- a** Zoek op hoeveel isotopen zuurstof heeft.
 - b** Welke isotopen van zuurstof komen voor op aarde?
 - c** Welke zuurstofisotoop komt het meest voor op aarde?
 - d** Bereken van het ${}^{18}\text{O}$ isotoop het aantal neutronen in de kern.
 - e** Geef het symbool van dit isotoop in drie verschillende notaties.
 - f** Geef de reactievergelijking van het verval van het ${}^{15}\text{O}$ isotoop.
 - g** Geef de reactievergelijking van het verval van het ${}^{19}\text{O}$ isotoop.

6* Vul de tabel in. [werkboek](#)

atoom	aantal protonen	massagetal	aantal neutronen
lithium Li	3	7	4
natrium Na		23	
cobalt Co			32
goud Au			118
	26	56	
	42	99	
	82	208	
uranium U			146
plutonium Pu		244	

7* Geef het aantal protonen en noteer de isotoop in de juiste notatie. [werkboek](#)

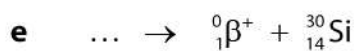
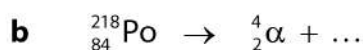
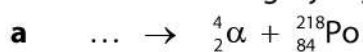
atoom	aantal protonen	aantal neutronen	notatie 1	notatie 2
helium He	2	1	${}^3_2\text{He}$	He-3
koolstof C		8		
zuurstof O		10		
silicium Si		16		
kalium K		22		
ijzer Fe		33		
zilver Ag		63		
kwik Hg		123		
lood Pb		132		

- 8**** In een bepaalde atoomkern zitten 30 protonen en 40 neutronen.
- a** Leg uit tot welk element dit atoom behoort.
 - b** Zoek het aantal isotopen van dit element op.
 - c** Zoek op welke isotopen van dit element radioactief zijn.
 - d** Zoek op welke isotoop van dit element β^- straling uitzendt.
 - e** Leg uit hoe je door de uitgezonden straling te meten te weten kunt komen of je met Zn-65 of met Zn-69 te maken hebt.
 - f** Zoek op welke isotopen van dit element γ -straling uitzenden.

- 9**** Het element neptunium heeft twee isotopen, die beide radioactief zijn.
- a** Zoek van ieder isotoop op welke straling hij uitzendt.
 - b** Stel voor het verval van beide isotopen de reactievergelijking op.

- 10**** ^{114}In (indium-114) kan zowel β^- -straling als β^+ -straling uitzenden. Eén enkel ^{114}In atoom zendt een β^- deeltje of een β^+ deeltje uit, maar nooit beide tegelijkertijd.
- a** Geef de reactievergelijking bij het uitzenden van een β^- deeltje.
 - b** Geef de reactievergelijking bij het uitzenden van een β^+ deeltje.

- 11***** Maak de reactievergelijkingen compleet.



- 12****** Het element chloor heeft twee stabiele isotopen. Chloorgas bestaat uit Cl_2 moleculen.
- a** Bereken hoeveel verschillende soorten Cl_2 moleculen er bestaan.
 - b** Bereken de molecuulmassa's van deze verschillende moleculen uitgedrukt in u.

Door met een hoge snelheid te centrifugeren kun je de verschillende soorten Cl_2 moleculen van elkaar scheiden.

- c** Leg dit uit.

- 13****** Het element koper heeft twee stabiele isotopen.
- a** Zoek op in welke verhouding deze stabiele Cu isotopen op aarde voorkomen.
 - b** Bereken de gemiddelde atoommassa van koper. Neem aan dat de massa van een proton en van een neutron gelijk is aan één u.

Het periodiek systeem geeft 63,55 u als atoommassa van koper.

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

- 14+** Krypton-81m is de nucleair isomeer van krypton-81 en ontstaat kunstmatig uit een kernreactie.
- a** Leg uit wat een nucleair isomeer is.
 - b** Leg uit dat krypton-81m niet kan ontstaan uit β^- verval.
 - c** Leg uit dat krypton-81m ook niet kan ontstaan uit β^+ verval.
 - d** Geef de vervalvergelijking van krypton-81m.

9.2 De snelheid van radioactief verval

Halveringstijd

1* Het radioactieve element uranium komt op aarde voor.

- a** Bereken het aantal neutronen in een U-238 kern.
- b** Bereken het aantal neutronen in een U-234 kern.

Het U-238 komt op aarde veel meer voor dan het U-234. De halveringstijd geeft aan hoe snel een atoomkern uit elkaar valt.

- c** Vergelijk de halveringstijden van U-238 en U-234 en verklaar hiermee waarom U-234 veel minder voorkomt op aarde.

2* Si-31 en Si-32 zijn beide radioactief.

- a** Zoek de halveringstijden van Si-31 en van Si-32 op in Binas.
- b** Welke van deze isotopen is het stabielst?
- c** Verwacht je dat één van deze isotopen op aarde voorkomt?

3* De halveringstijd van een isotoop is 1 dag. In het begin zijn er 1000 radioactieve kernen

- a** Hoeveel radioactieve kernen zijn er aanwezig na 1 dag?
- b** Hoeveel radioactieve kernen zijn er aanwezig na 2 dagen?
- c** Hoeveel radioactieve kernen zijn er vervallen na 3 dagen?

4** De isotoop P-30 wordt kunstmatig gemaakt. Je maakt $1,0 \cdot 10^9$ P-30 kernen.

- a** Zoek de halveringstijd van P-30 op.
- b** Hoeveel kernen zijn er aanwezig na 20 minuten?
- c** Hoeveel kernen zijn er aanwezig na 40 minuten?
- d** Hoeveel kernen zijn er in 60 minuten vervallen?

5** De isotoop P-33 wordt kunstmatig gemaakt.

- a** Zoek de halveringstijd van P-33 op.
- b** Na hoeveel tijd is de 75% van het gemaakte P-33 vervallen?
- c** Na hoeveel tijd is van het gemaakte P-33 nog 6,25% over?

6** Een archeoloog gebruikt C-14 om de ouderdom van een prehistorische ploeg te bepalen. De hoeveelheid C-14 in de ploeg is een kwart van de hoeveelheid C-14 in vers hout.

- a** Hoe oud is de ploeg?

- 7***** Een patiënt krijgt 8,0 gram ^{131}I (jood-131) toegediend.
- a** Na hoeveel tijd is 7,0 gram van het toegediende ^{131}I vervallen?
 - b** Na hoeveel tijd is 93,75% van het toegediende ^{131}I verdwenen?

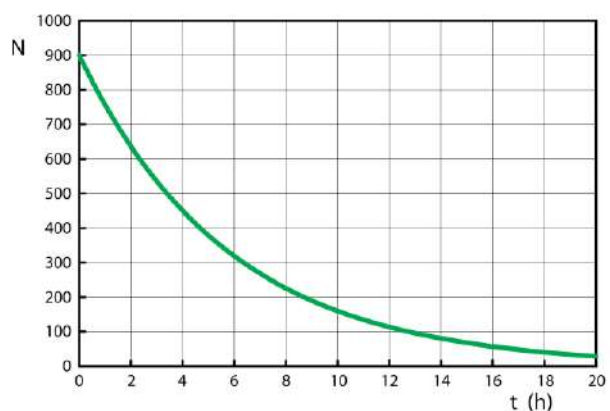
- 8***** Een radioactieve stof wordt kunstmatig gemaakt. Na 24 uur heb je nog maar 12,5% van de oorspronkelijke hoeveelheid over.
- a** Bereken de halveringstijd van deze stof.
 - b** Bereken hoeveel procent van deze stof is vervallen na 16 uur.
 - c** Bereken hoeveel procent van deze stof is vervallen na 48 uur.

- 9***** In 1986 ontplofte in Tsjernobyl een kernreactor waarbij radioactieve stoffen in de atmosfeer kwamen. Een groot gebied werd radioactief besmet met onder andere Cs-137 (cesium-137).

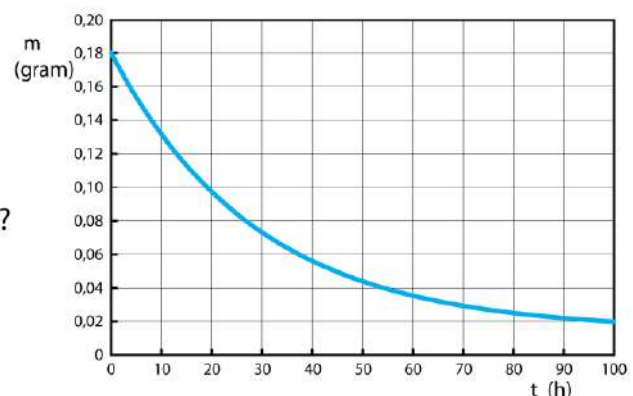


- a** Welke straling zendt deze isotoop uit?
- b** Hoeveel procent van de oorspronkelijke hoeveelheid Cs-137 is er nog aanwezig na 150 jaar.
- c** Hoeveel procent van de oorspronkelijke hoeveelheid Cs-137 is er nog aanwezig na 300 jaar.
- d** In welk jaar het aantal aanwezige Cs-137 kernen afgenomen tot 1,5625% van de oorspronkelijke hoeveelheid?

- 10**** De figuur is het (N-t)-diagram van een radioactief isotoop.
- a** Hoe groot de halveringstijd?
 - b** Hoeveel kernen zijn er na 24 uur aanwezig?
 - c** Hoeveel kernen zijn er na 24 h vervallen?



- 11**** In figuur zie je hoe de massa van een radioactief isotoop afneemt in de tijd.
- a** Hoe groot is de halveringstijd?
 - b** Na hoeveel tijd is er 3,125% van de oorspronkelijke hoeveelheid aanwezig?
 - c** Hoeveel gram is er in deze tijd vervallen?



Activiteit

GEEN OPGAVEN

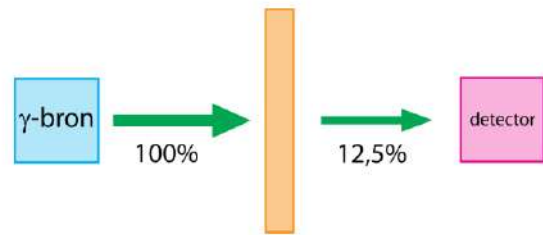
9.3 Ioniserende straling

- 1***
- a** Leg uit wat met de dracht van een deeltje wordt bedoeld.
 - b** Leg uit wat met het ioniserend vermogen wordt bedoeld.
- 2****
- De dracht (indringdiepte) van α - en β -deeltjes hangt af van de energie van het deeltje.
- a** Leg uit waarom dit het geval is.
- Alfadeeltjes hebben een kleiner dracht (indringdiepte) dan bètadeeltjes.
- b** Leg uit waarom dit het geval is.
- Als de dracht klein is dan is het ioniserend vermogen groot.
- c** Leg uit waarom dit het geval is.
- De dracht (indringdiepte) van α - en β -deeltjes hangt af van de dichtheid van een stof.
- d** Leg uit waarom dit het geval is.
- Het doordringend vermogen van γ -fotonen is veel groter dan van α - en β -deeltjes.
- e** Leg uit waarom dit het geval is.
- 3****
- Om een lek in een pijpleiding op te sporen wordt aan de vloeistof in de pijp een radioactieve stof toegevoegd.
- a** Leg uit of je hiervoor het beste een α -straler een β -straler of een γ -straler kunt gebruiken.
 - 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?
- 4*****
- Vroeger zat in een rookmelder ^{241}Am (americium-241). Nu is dat verboden en werkt een rookmelder met een lichtsensor.
- a** Geef de vervalreactie van Am-241.
 - b** Leg uit of het aantal Am-241 kernen na 20 jaar veel is veranderd.
 - c** Kan de uitgezonden α -straling normaal gesproken buiten het plastic doosje van de rookmelder komen?
 - d** Leg uit waarom rookmelders met radioactief americium gevaarlijk kan zijn voor bewoners en hulpdiensten als er brand uitbreekt



Halveringsdikte

- 5**** Van een bepaalde stof is de halveringsdikte 5,0 mm. Een plaatje van deze stof staat voor een γ -bron. Achter het plaatje staat een detector.

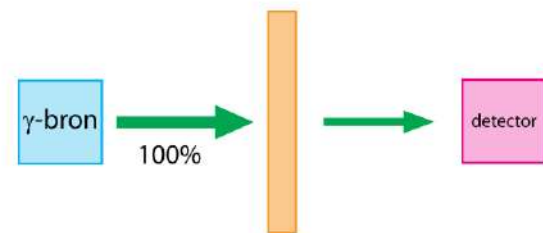


- a** Hoe dik is het plaatje als 12,5% van de straling in de detector komt?

Je wilt dat minder dan 1% van de γ -straling door het plaatje gaat en in de detector komt.

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

- 6**** Van een bepaalde stof is de halveringsdikte 2,0 cm. Een plaatje van deze stof staat voor een γ -bron. Achter het plaatje staat een detector.



Van de uitgezonden straling komt 6,25% in de detector.

- a** Hoe dik is het plaatje?

Een plaatje met een andere dikte houdt 87,5% van de straling tegen.

- b** Hoe dik is dit plaatje?

Bij een plaatje met weer een andere dikte komt maar 0,1953% van de uitgezonden straling in de detector.

- c** Hoe dik is dit plaatje?

- 7***** Van een bepaalde stof is de halveringsdikte 1,5 cm. Twee plaatjes van deze stof staan voor een γ -bron. Achter het plaatje staat een detector.



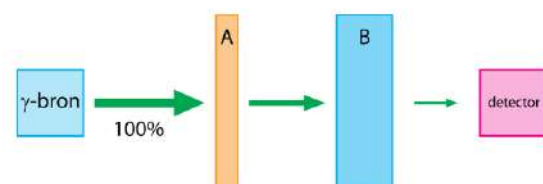
Na het eerste plaatje is nog 25% van de straling aanwezig.

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

Na het tweede plaatje is nog 6,25% van de straling aanwezig.

- b** Bereken de dikte van het tweede plaatje.

- 8***** Een plaatje van stof A en een plaatje van stof B staan voor een γ -bron. Stof A heeft een halveringsdikte van 2,0 mm. Stof B heeft een halveringsdikte van 5,0 mm.



Plaatje A heeft een dikte van 2,0 mm en plaatje B heeft een dikte van 10 mm.

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

Bij een ander experiment heeft plaatje A een dikte van 8,0 mm en plaatje B een dikte van 15 mm.

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

9*** Bij het maken van röntgenfoto's moeten medewerkers van de afdeling radiologie in een ziekenhuis beschermd worden tegen röntgenstraling. Ter bescherming is een kledingstuk ontwikkeld waarin lood is verwerkt, het zogenaamde loodschort. In het schort is een hoeveelheid lood verwerkt die overeenkomt met een dikte van 0,053 cm.

De röntgenstraling waarmee wordt gewerkt, heeft een energie van 0,10 MeV.

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



9.4 Detectie van straling

1** Een onderhoudsmonteur van een kerncentrale draagt altijd een badge.

a Leg uit waarom dit belangrijk is.

Een onderhoudsmonteur van een kerncentrale neemt niet altijd een geigerteller (GM-teller) mee.

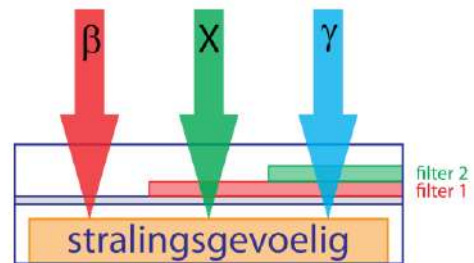
b Leg uit waarom dit niet nodig is.

Er zijn situaties waarbij de onderhoudsmonteur wel een GM-teller meeneemt.

c Noem een voorbeeld van zo'n situatie.

2** Een medewerker van de afdeling radiologie van het ziekenhuis wordt blootgesteld aan ioniserende straling en draagt daarom altijd een badge. Zie figuur.

Het stralingsgevoelige materiaal kleurt donker als het met ioniserende straling in aanraking komt.



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

3*** Medewerkers op de afdeling radiologie in een ziekenhuis hebben beroepshalve te maken met straling. Om te controleren of ze niet te veel straling ontvangen, dragen zij een badge.

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

Om te controleren of badges goed werken, moet je ze van tijd tot tijd bestralen met straling van een bekende stof. Voor de badges die gevoelig zijn voor β -straling kun je een keuze maken uit één van de volgende stoffen: Cs-137, Sr-90 en Po-209.

- b** Geef de vervalreactie van Cs-137.
- c** Geef de vervalreactie van Sr-90.
- d** Geef de vervalreactie van Po-209.
- e** Leg uit welke van deze drie stoffen je het beste kunt gebruiken om de badges te testen.

9.5 Absorptie van straling door materie

- 1**** Bij ongelukken in een kerncentrale dragen hulpverleners pakken waarin lood is verwerkt. Verder dragen ze ook een gasmasker.
- a** Leg uit waarom er lood in de pakken wordt verwerkt.
 - b** Leg uit waarom ze ook een gasmasker dragen.

Medewerkers van de afdeling radiologie in een ziekenhuis dragen kleding waarin lood is verwerkt, maar ze dragen geen gasmasker.

- c** Leg uit waarom een gasmasker voor hen niet nodig is.



- 2**** Radioactieve straling (ioniserende straling afkomstig uit een radioactieve stof) kan gebruikt worden om tumoren te bestrijden. De straling kan van buiten het lichaam komen, maar de stralende bron kan ook in het lichaam ingebracht worden. Deze inwendige bestraling is zinvol bij een goed gelokaliseerde tumor, zoals borstkanker of prostaatkanker.



Bij inwendige bestraling wordt een radioactief isotoop in afgesloten metalen naaldjes rondom de tumor geplaatst. Zie figuur. Voor inwendige bestralen is alfastraling niet geschikt.

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

Voor inwendige bestraling zijn radium-226 (Ra-226) en cobalt-60 (Co-60) geschikt.

- b** Geef de reactievergelijkingen voor het verval van Ra-226 en van Co-60.
- c** Noem de belangrijkste verschillen tussen het gebruik van Ra-226 en Co-60.

- 3**** Een monteur van een kerncentrale wordt blootgesteld aan α -straling en absorbeert per seconde $1,0 \cdot 10^{-7}$ joule stralingsenergie. Zijn massa is 90 kg.
- a** Bereken het dosisequivalent dat de monteur na 1,0 uur werken ontvangt.



De monteur werkt gemiddeld 5 uur per dag 150 dagen per jaar in de centrale.

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

Volgens de Nederlandse wet mag iemand die met stralingsbronnen werkt per jaar maximaal 20 mSv ontvangen.

- c** Voldoet de monteur aan deze wet?

- 4***** Bij het maken van röntgenfoto's moeten medewerkers van de afdeling radiologie in een ziekenhuis beschermd worden tegen röntgenstraling. Ter bescherming is een kledingstuk ontwikkeld waarin lood is verwerkt, het zogenaamde loodschort. De röntgenstraling waarmee wordt gewerkt, heeft een energie van 0,40 MeV.



Een medewerker wordt tijdens zijn werk per ongeluk gedurende 2,5 minuten blootgesteld aan deze straling. Het vermogen van de röntgenstraling is 0,15 microwatt. Van deze straling wordt 70% geabsorbeerd door een spiermassa van 12 kg.

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

- 5***** Een medewerker van de afdeling radiologie in een ziekenhuis mag worden blootgesteld aan een dosis van maximaal 5,0 mGy per jaar. De medewerker weegt 65 kg.

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

Als de stralingsbron aan staat ontvangt de medewerker per seconde $1,0 \cdot 10^{-7}$ joule aan stralingsenergie.

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

- 6***** Uit een radioactieve bron komt γ -straling. In één seconde geeft de bron $5,0 \cdot 10^{-9}$ joule aan stralingsenergie. Een man van 60 kg wordt gedurende 15 minuten door deze bron bestraald.

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

Uit veiligheidsoverweging gaat hij achter een muur staan die 75% van de γ -straling absorbeert.

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

- 7***** Een piloot vliegt gemiddeld 20 uur per week op 11 km hoogte. Tijdens de vlucht ontvangt ze een dosisequivalent van $7,0 \mu\text{Sv}$ per uur. Ze werkt 45 weken per jaar.

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

In Nederland mogen mensen boven de 18 die beroepshalve met radioactieve straling werken een dosisequivalent van maximaal 20 mSv per jaar ontvangen.

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



- 8***** Om te controleren of schoenen goed passen werd vroeger een apparaat gebruikt waarbij de voeten met röntgenstraling werden bestraald. De verkoper kon de botten van de voeten zien bewegen. Vooral bij het passen van kinderschoenen werden deze apparaten gebruikt. Vanaf 1960 zijn deze apparaten verboden. Zie figuur.



De geabsorbeerde stralingsenergie per seconde van een kindervoet is bij deze machine 1,5 mJ. Een kindervoet heeft een massa van 200 gram.

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

Vooral de handen van de verkopers liepen gevaar, omdat ze tijdens het passen in de schoenen knepen. De stralingsenergie per minuut op een hand is bij deze machine 0,18 J. Een hand heeft een massa van 300 gram.

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



Op een dag wordt het apparaat gemiddeld drie keer gedurende 10 seconden gebruikt. De stralingsweegfactor van de gebruikte röntgenstraling is 0,90. De schoenenwinkel is 250 dagen per jaar open.

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

- 9***** Door een lekkage in de verpakking komt er radioactieve straling naar buiten. Hierdoor wordt bij een medewerker een deel van de huid gedurende 3,0 minuten blootgesteld aan α -straling. De stralingsweegfactor voor α -straling is 20. Van de aanwezige α -straling wordt 15% geabsorbeerd.

De massa van dit stukje huid is 18 g. De radioactieve α -bron lekt iedere seconde $6,0 \cdot 10^{-8}$ J stralingsenergie.

- a** Bereken de stralingsdosis die de huid ontvangt.
b Bereken het ontvangen dosisequivalent.

Volgens de Nederlandse regelgeving mag het dosisequivalent bij een volwassene paar jaar niet meer zijn dan 1 mSv.

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

- 10**** Om glaswerk een groene gloed te geven werd vroeger uranium aan glas toegevoegd en onder de naam uraniumglas verkocht.

- a** Word je radioactief besmet als je uit uraniumglas drinkt?
b Word je radioactief bestraald als je uit uraniumglas drinkt?



9.6 Kernreacties

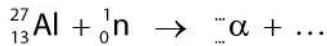
Vervalketen

- 1***** $^{238}_{92}\text{U}$ vervalft spontaan in vier stappen naar $^{230}_{90}\text{Th}$.
- Bij hoeveel van deze stappen wordt er een α -deeltje uitgezonden?
 - Bij hoeveel van deze stappen wordt er een β^- -deeltje uitgezonden?
 - Bij hoeveel van deze stappen wordt er een β^+ -deeltje uitgezonden?
 - Geef de reactievergelijkingen van deze vier reacties.
 - Geef in het (A, Z)-diagram de isotopen aan die betrokken zijn bij deze vervalketen en teken de reactiepijlen. [werkboek](#)
- 2***** Uranium-238 vervalft in een aantal stappen tot lood-206. Bij het verval worden zowel α -deeltjes als β^- -deeltjes uitgezonden.
- Leg uit of de verandering van het massagetal wordt veroorzaakt door het uitzenden van α -deeltjes of door het uitzenden van β^- -deeltjes.
 - Beredeneer bij hoeveel stappen in de vervalreeks er een α -deeltje wordt uitgezonden.
 - Beredeneer bij hoeveel stappen in de vervalreeks er een β^- -deeltje wordt uitgezonden.
- 3***** $^{212}_{83}\text{Bi}$ vervalft in twee stappen naar $^{208}_{82}\text{Pb}$. Bij het verval worden zowel α -deeltjes als β^- -deeltjes uitgezonden.
- Beredeneer bij hoeveel stappen in de vervalreeks een α -deeltje wordt uitgezonden.
 - Beredeneer bij hoeveel stappen in de vervalreeks een β^- -deeltje wordt uitgezonden.
 - Geef de vervalketen waarbij eerst een α -deeltje wordt uitgezonden.
 - Geef de vervalketen waarbij eerst een β^- -deeltje wordt uitgezonden.
 - Geef in het (A, Z)-diagram de isotopen aan die betrokken zijn bij deze vervalketen en teken de pijlen voor beide vervalketens. [werkboek](#)

Gestimuleerde reacties

- 4**** In 1919 heeft Ernest Rutherford een kernreactie veroorzaakt. Hij bombardeerde stikstof atomen (^{14}N -kernen) met α -deeltjes en ontdekte dat daarbij protonen ^1_1H ontstaan. De kernreactie bestaat uit twee stappen. Bij de eerste stap wordt het α -deeltjes opgenomen in de ^{14}N -kern.
- Maak de reactievergelijking van stap 1 compleet. $^{14}\text{N} + \alpha \rightarrow ?$
 - Maak de reactievergelijking van stap 1 + stap 2 compleet.
 $^{14}\text{N} + \alpha \rightarrow ? \rightarrow ^1_1\text{H} + ?$

- 5**** Een plaat van aluminium-27 wordt bestraald met neutronen. Eén neutron versmelt met de Al-27 kern die daarna uiteenvalt en een α -deeltje uitzendt.



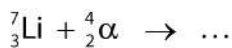
a Maak de reactievergelijking compleet.

Bij deze reactie ontstaat een instabiel isotoop die spontaan uiteenvalt onder uitzending van een β^- -deeltje.

b Geef de reactievergelijking van deze spontane reactie.

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

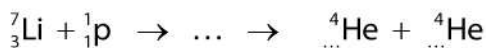
- 6**** Lithium-7 wordt beschoten met α -deeltjes. Eén α -deeltje versmelt met de Li-7 kern.



a Maak de reactievergelijking compleet.

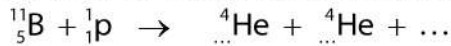
b Controleer of het reactieproduct een stabiel isotoop is.

- 7***** Lithium-7 wordt beschoten met protonen totdat al het lithium is omgezet in He-4. Er ontstaat eerst dochterkern die heel snel uit elkaar valt.



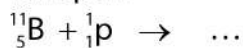
a Maak de reactievergelijking compleet.

Als boor-11 wordt beschoten met protonen ontstaat er uiteindelijk ook helium-4.



b Maak de reactievergelijking compleet.

Behalve de reactie bij vraag b kan het beschieten van boor-11 met protonen ook anders verlopen.



c Maak de reactievergelijking compleet.

9.7 Massa en energie

GEEN OPGAVEN