

9 Kernfysica

3 vwo

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*** 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	

4* 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		

- 5* 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?

- 6* De atoomkern van het radioactieve element plutonium (Pu) bevat veel kerndeeltjes.
a Zoek het atoomnummer van Pu op.
b Hoeveel protonen heeft een Pu kern?

Een proton heeft een lading van $1,60218 \cdot 10^{-19}$ C.

- c Bereken de lading van een Pu kern.
d Leg uit hoeveel elektronen een Pu atoom heeft.
e Bereken het aantal neutronen in een Pu-244 kern.
f Zoek op welk type straling Pu-244 voornamelijk uitzendt.

- 7** 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.

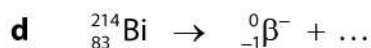
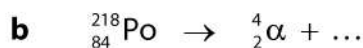
- d** Zoek op welke isotoop van dit element β^- straling uitzendt.
- e** Leg uit hoe je door de uitgezonden straling te meten te weten kunt komen of je met Zn-65 of met Zn-69 te maken hebt.
- f** Zoek op welke isotopen van dit element γ -straling uitzenden.

- 8*** 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}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}O isotoop.
 - g** Geef de reactievergelijking van het verval van het ^{19}O isotoop.

- 9**** Het element neptunium (Np) 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.



9.2 De snelheid van radioactief verval

Halveringstijd

- 1*** Het radioactieve element uranium komt op aarde voor.
- Bereken het aantal neutronen in een U-238 kern.
 - 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.
- 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.
- Zoek de halveringstijden van Si-31 en van Si-32 op.
 - Welke van deze isotopen is het stabielst?
 - 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
- Leg met eigen woorden uit wat de halveringstijd is.
 - Hoeveel radioactieve kernen zijn er aanwezig na 1 dag?
 - Hoeveel radioactieve kernen zijn er aanwezig na 2 dagen?
 - Hoeveel radioactieve kernen zijn er vervallen na 3 dagen?
- 4**** De isotoop P-30 (fosfor) wordt kunstmatig gemaakt. Je maakt 8000 P-30 kernen.
- Zoek de halveringstijd van P-30 op.
 - Hoeveel kernen zijn er aanwezig na 5 minuten?
 - Hoeveel kernen zijn er aanwezig na 10 minuten?
 - Hoeveel kernen zijn er in 10 minuten vervallen?
- 5**** De isotoop P-33 (fosfor) wordt kunstmatig gemaakt.
- Zoek de halveringstijd van P-33 op.
 - Na hoeveel tijd is de 75% van het gemaakte P-33 vervallen?
 - 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.
- Zoek de halveringstijd van C-14 op.
 - Hoe oud is de ploeg?

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

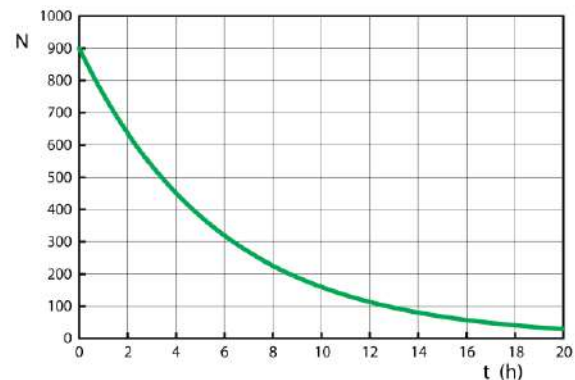
- 8***** Een radioactieve stof wordt kunstmatig gemaakt. Na 24 uur heb je nog maar 12,5% van de oorspronkelijke hoeveelheid over.
- Bereken de halveringstijd van deze stof.
 - Bereken hoeveel procent van deze stof is vervallen na 16 uur.
 - Bereken hoeveel procent van deze stof is vervallen na 48 uur.

- 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).

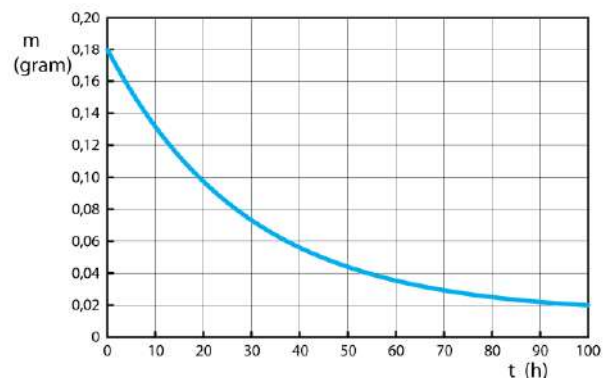


- Welke straling zendt deze isotoop uit?
- Hoeveel procent van de oorspronkelijke hoeveelheid Cs-137 is er nog aanwezig na 150 jaar.
- Hoeveel procent van de oorspronkelijke hoeveelheid Cs-137 is er nog aanwezig na 300 jaar.
- In welk jaar is het aantal Cs-137 kernen afgenomen tot 12,5% van de oorspronkelijke hoeveelheid?
- 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.
- Hoe groot de halveringstijd?
 - Hoeveel kernen zijn er na 24 uur aanwezig?
 - Hoeveel kernen zijn er na 24 uur vervallen?



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



Activiteit

- 12***
- a** Leg met eigen woorden uit wat met de activiteit is.
 - b** Wat is het symbool van de grootheid activiteit?
 - c** Wat is de eenheid van de activiteit en wat is het symbool hiervan?

De halveringstijd van een isotoop is 1 dag.

- d** Hoeveel procent van de activiteit is er nog aanwezig na 1 dag.
- e** Hoeveel procent van de activiteit is er nog aanwezig na 2 dagen.
- f** Hoeveel procent van de activiteit stof is er nog aanwezig na 3 dagen.

- 13*** De atoombom die op Nagasaki is gegooid (Fat Man) bevatte 7,0 kg plutonium-239 (^{239}Pu). Omdat bij de explosie niet al het plutonium is omgezet is het ^{239}Pu in een groot gebied om Nagasaki terecht gekomen.



- a** Wordt de activiteit van het ^{239}Pu in een mensenleven merkbaar kleiner?
- b** Hoelang zal het nog duren voordat de helft van het ^{239}Pu is verdwenen?

- 14**** Een brokje radioactieve stof zendt 1920 α -deeltjes per minuut uit.
- a** Hoe groot is de activiteit van dit brokje stof?

8,0 uur later zendt het brokje nog maar 120 α -deeltjes per minuut uit.

- b** Hoe groot de halveringstijd van deze stof?

- 15**** Na 258 dagen is de activiteit van een preparaat gedaald tot 12,5%.
- a** Bereken de halveringstijd.

- 16**** 1 gram radioactief ^{131}I (jood-131) heeft een activiteit van $4,6 \cdot 10^{15}$ Bq.

- a** Leg uit of de halveringstijd van 2 gram ^{131}I groter, kleiner of gelijk is aan die van 1 gram ^{131}I .
- 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 .

- 17***** De activiteit van ^{14}C in de schedel van een Neanderthaler is 512 keer zo klein als bij een levend mens.

- a** Hoelang geleden leefde deze Neanderthaler?



18*** Van 40 gram radioactieve stof blijkt de activiteit in 6,0 uur te zijn teruggelopen tot een kwart van de oorspronkelijke hoeveelheid.

- a Hoeveel gram van deze stof is er in 6 uur vervallen?
- b Bereken de halveringstijd van deze isotoop.

In plaats van 40 gram nemen we nu 120 gram van deze stof.

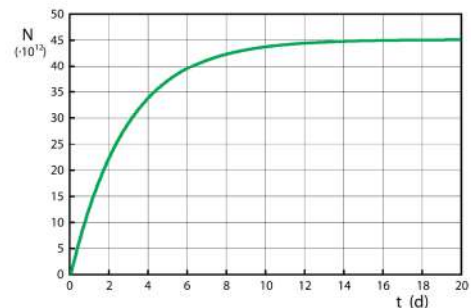
- c Bereken de hoeveel van deze stof aanwezig is na 6 uur.
- d Bereken hoeveel van deze stof aanwezig is na 24 uur.
- e Bereken hoeveel van deze stof is vervallen is na 12 uur.

19*** De snelheid van het verval ^{82}Br (broom-82) en ^{65}Ni (nikkel-65) gaan we vergelijken. In het begin hebben beide stoffen evenveel atomen.

- a Zoek de halveringstijden van ^{82}Br en ^{65}Ni op.
- b Leg uit welk isotoop de grootste stabiliteit heeft.
- c Leg uit welk isotoop de grootste activiteit heeft op $t=0$.
- d Verklaar waarom de activiteit van beide stoffen afneemt in de tijd.
- e Leg uit bij welk isotoop de afname het snelst verloopt.

20**** In de figuur zie je het aantal vervallen kernen van een radioactief isotoop.

- a Schets het (N, t)-diagram van dit verval. [werkboek](#)
- b Bepaal de halveringstijd. [werkboek](#)
- c Leg uit of de activiteit toeneemt, afneemt of gelijk blijft.
- d Bepaal de gemiddelde activiteit tussen $t = 0$ en $t = 2,0$ d. [werkboek](#)
- e Bepaal de gemiddelde activiteit tussen $t = 0$ en $t = 20$ d. [werkboek](#)



Bij de opgaven **21 t/m 23** moet je het inzicht hebben dat de activiteit recht evenredig is met het aantal aanwezige radioactieve kernen en omgekeerd evenredig met de halveringstijd in seconde. De formule waarmee je de activiteit (A) kunt uitrekenen als je het aantal aanwezige kernen (N) weet of andersom is:

$$A = \frac{0,693}{t_{1/2}} \cdot N \quad t_{1/2} \text{ moet in seconde}$$

21*** Stof A heeft grote halveringstijd een stof B heeft een kleine halveringstijd. Isabel beweert dat je hieruit mag concluderen dat stof A een grotere activiteit heeft dan stof B. Leonardo beweert dat je moet concluderen dat stof A een kleinere activiteit heeft dan stof B.

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

Jasmijn beweert dat je ook het gewicht van de stoffen A en B moet weten om conclusies te kunnen trekken.

b Heeft Jasmijn gelijk?

22**** Eén gram ^{131}I (jood-131) bevat $4,60 \cdot 10^{21}$ atomen.

a Bereken de activiteit van 1,0 gram ^{131}I . gebruik $A = (0,693 / t_{1/2}) \cdot N$

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

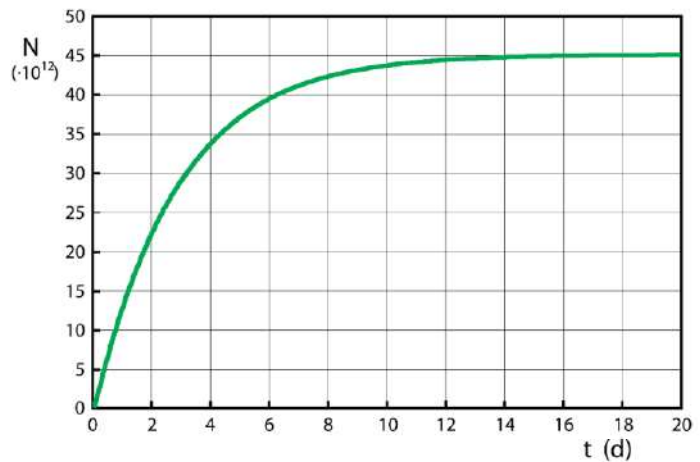
c Bereken na hoeveel tijd er nog 1/64 deel van de activiteit over is.

d Bereken na hoeveel tijd 87,5% van het ^{131}I is vervallen.

23**** In de figuur zie je het aantal vervallen kernen van een radioactief isotoop.

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

gebruik $A = (0,693 / t_{1/2}) \cdot N$



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, 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. Met een detector wordt de straling die door de wand van de pijp gaat gemeten.
- a** Leg uit of je 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.

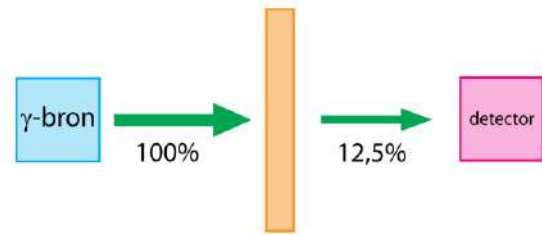


Bij het verval van Am-241 ontstaat een radioactieve stof. Na een bepaalde tijd is de helft van het Am-241 vervallen. Van beide stoffen zijn dan evenveel kernen aanwezig.

- c** Leg uit of de ontstane stof dan meer of minder activiteit heeft dan het aanwezige Am-241. **gebruik $A = (0,693 / t_{1/2}) \cdot N$**
- d** Kan de uitgezonden α -straling normaal gesproken buiten het plastic doosje van de rookmelder komen?
- e** 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.

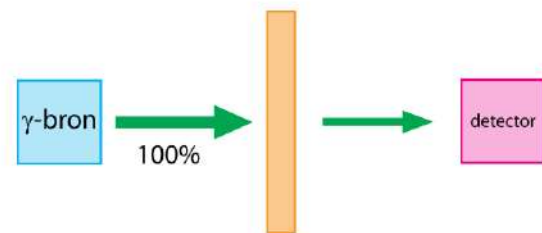


- a Hoe dik is het plaatje als 12,5% van de straling in de detector komt?

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 van dezelfde stof met een andere dikte houdt 87,5% van de straling tegen.

- b Hoe dik is dit plaatje?

Bij een plaatje van dezelfde stof met weer een andere dikte komt maar 0,39% 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.



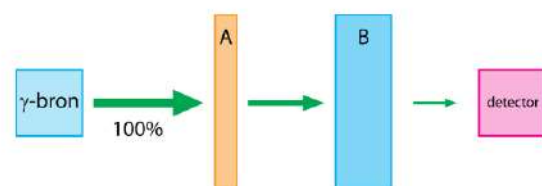
Na het eerste plaatje is nog 25% van de straling aanwezig.

- a Bereken de dikte van het eerste plaatje.

Na het tweede plaatje is nog 3,125% 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.

Bij de röntgenstraling waarmee wordt gewerkt heeft lood een halveringsdikte 0,0106 cm.

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.

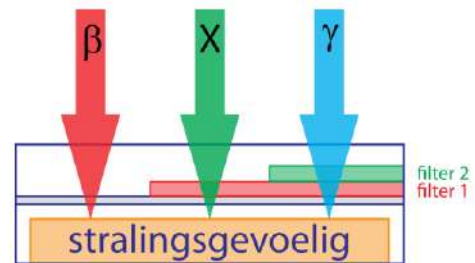
- b Leg uit waarom dit niet nodig is.

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 twee belangrijke verschillen tussen het gebruik van Ra-226 en van Co-60.

- 3**** Een monteur van een kerncentrale wordt blootgesteld aan α -straling en absorbeert per seconde $0,1 \mu\text{J}$ ($= 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ J}$) 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.



Een medewerker wordt tijdens zijn werk per ongeluk gedurende 2,5 minuten blootgesteld aan deze straling. Iedere seconde wordt er $2,5 \mu\text{J}$ ($= 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ J}$) stralingsenergie geabsorbeerd door haar spieren. Haar spieren wegen 12,5 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 54 kg.

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

Als de stralingsbron aan staat ontvangt de medewerker per seconde $0,30 \mu\text{J}$ ($= 0,30 \cdot 10^{-6} \text{ J}$) 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 $5,0 \text{ nJ}$ ($= 5,0 \cdot 10^{-9} \text{ J}$) 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 $7,0 \mu\text{Sv}$ ($= 7,0 \cdot 10^{-6} \text{ Sv}$) 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 ($= 20 \cdot 10^{-3} \text{ Sv}$) 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 ($= 1,5 \cdot 10^{-3}$ J). 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 280 dagen per jaar open.

c Bereken het 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 60 nJ ($= 60 \cdot 10^{-9}$ 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 ($= 1,0 \cdot 10^{-3}$ Sv).

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

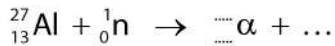
Vervalketen

- 1***** $^{238}_{92}\text{U}$ vervalt 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 vervalt 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***** $^{212}_{83}\text{Bi}$ vervalt 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. $^{14}_7\text{N} + \alpha \rightarrow ?$
 - Maak de reactievergelijking van stap 1 + stap 2 compleet.
 $^{14}_7\text{N} + \alpha \rightarrow ? \rightarrow ^1_1\text{H} + ?$

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.



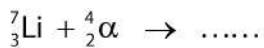
a Maak de reactievergelijking compleet.

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.

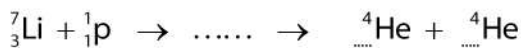
6** Lithium-7 wordt beschoten met α -deeltjes. Eén α -deeltje versmelt met de Li-7 kern.



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.



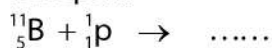
a Maak de reactievergelijking compleet.

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



b Maak de reactievergelijking compleet.

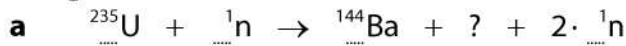
Behalve de reactie bij vraag b kan het beschieten van boor-11 met protonen ook anders verlopen.



c Maak de reactievergelijking compleet.

9.7 Massa en energie

1*** Maak de reactievergelijkingen af. Zet op de stippelijnen het juiste getal en vul het vraagteken in.



2*** Een gemiddeld gezin in Nederland gebruikt per jaar 2800 kWh aan elektrische energie.

$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J} \quad | \quad c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

a Bereken hoeveel massa met deze hoeveelheid energie correspondeert.

De verbrandingswarmte van stookolie is $40 \cdot 10^9 \text{ J/m}^3$.

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

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.

Massadefect

3*** Polonium-210 is een radioactief isotoop.

a Stel de reactievergelijking op.

Bij een spontaan radioactief vervalproces komt er altijd energie vrij.

b Leg uit waarom dit het geval is.

Bij het verval van één Po-210 kern verdwijnt er $5,82 \cdot 10^{-3} \text{ u}$ aan massa.

$1 \text{ u} = 1,660539 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad | \quad c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

c Bereken uit het massadefect de hoeveelheid vrijkomende energie in joule.

4*** Het element neptunium heeft twee isotopen, die beide radioactief zijn.

Bij het α -verval van neptunium-237 ontstaat $5,327 \cdot 10^{-3} \text{ u}$ aan massa.

Bij het β^- -verval van neptunium-239 ontstaat $7,7 \cdot 10^{-4} \text{ u}$ aan massa.

a Beredeneer of deze vervalprocessen spontaan kunnen verlopen.

5**** Berilium-9 wordt beschoten door deeltjes met een energie van $4,00 \cdot 10^{-13} \text{ J}$. Er treden verschillende kernreacties op. Bij een bepaalde reactie ontstaat een Li-7 kern met een energie van $5,13 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ en een α -deeltje met een energie van $1,04 \cdot 10^{-12} \text{ J}$. De energie van de beschoten Be-9 kernen is te verwaarlozen.

a Bepaal met welke deeltjes het beryllium is beschoten.

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

c Bereken het massadefect uitgedrukt in u.

Kernreactor

6*** In een kernreactor wordt uranium-235 gespleten door het met neutronen te beschieten. Een van de optredende kernreacties is: ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{90}\text{Sr} + \text{X} + 2 {}^1_0\text{n}$. Hierbij is X een nader te bepalen kern.

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

7**** In een kernreactor wordt uranium-235 gespleten door het met neutronen te beschieten. Als een uranium-235 kern één neutron opneemt kan er een kernreactie optreden, waarbij twee middelgrote kernen met massagetalen 94 en 140 ontstaan. Eén van deze kernen is een cesiumkern ${}_{55}\text{Cs}$.

a Bereken hoeveel neutronen er ontstaan.

b Stel de vergelijking van deze kernreactie op.

De gevormde middelgrote kernen zijn beide radioactief. Beide kernen sturen achter elkaar drie β^- -deeltjes uit waarbij uiteindelijk stabiele kernen ontstaan.

c Ga na welke stabiele kernen er uiteindelijk worden gevormd.

8+ De neutronen die vrijkomen bij de splijting van uranium-235 hebben een te hoge snelheid om de kettingreactie in stand te houden. Door een moderator aan te brengen worden de neutronen afgeremd.

a Leg uit waarom het beter is om als moderator een stof met lichte kernen te gebruiken dan een stof met zware atoomkernen.