

### Inhoudsopgave basisstof

	bladzijde
P1. Radioactiviteit	4
P3. Halfwaardetijd	5
T1. Straling	6
T2. Gebruik van straling	8
T3. Stralingsbescherming	10
W1. Straling	11
W2. Gebruik van straling	11
W3. Stralingsbescherming	12

### Overzicht van de differentiële stof

	bladzijde
<b>Herhaalstof</b>	
H1. Straling	13
H2. Halfwaardetijd	14
<b>Extra stof</b>	
E1. Werking van een kernreactor	15

---

## Blok 23 Leerdoelen

---

### Wat je moet kunnen aan het eind van blok 23

(De leerdoelen gemerkt met \* behoren alleen tot het D-programma. De overige leerdoelen behoren tot zowel het C- als het D-programma.)

	Te vinden in:
<b>1</b>	
Je moet weten dat een atoom is opgebouwd uit een kern van protonen en neutronen en dat de elektronen daar omheen draaien.	T 1, W 1
<b>2</b>	
Je moet weten dat elektronen en atoomkernen aantrekkende krachten op elkaar uitoefenen en dat elektronen elkaar onderling afstoten. Ook kernen stoten elkaar onderling af.	T 1, W 1
<b>3</b>	
Je moet weten dat kernen van verschillende isotopen van een element evenveel protonen bevatten, maar een verschillend aantal neutronen.	T 1, W 1
<b>* 4</b>	
Je moet weten dat radioactieve straling afkomstig is uit de kern van een atoom.	T 1, W 1
<b>* 5</b>	
Je moet weten dat radioactieve straling in staat is om atomen te veranderen.	T 1, W 1
<b>* 6</b>	
Je moet weten wat alfa-, bèta-, gamma- en röntgenstraling zijn en weten welke eigenschappen ze bezitten.	T 1, W 1
<b>* 7</b>	
Je moet weten dat radioactieve straling lichaamsdelen kan beschadigen.	T 1, W 1
<b>* 8</b>	
Je moet weten dat radioactieve straling wordt toegepast in de medische wetenschap.	T 2, W 2
<b>* 9</b>	
Je moet weten dat het doordringend vermogen van radioactieve straling (de dracht) in een stof afhangt van de soort straling, de soort stof en van de doorlopen dikte.	T 2, W 2
<b>* 10</b>	
Je moet weten dat stabiele isotopen geen radioactieve straling uitzenden en dat instabiele isotopen dit wel doen.	T 2, W 2
<b>* 11</b>	
Je moet met behulp van de halveringstijd kunnen uitrekenen hoeveel radioactief materiaal er na een bepaalde tijd nog is overgebleven.	T 2, W 2
<b>* 12</b>	
Je moet weten hoe men zich tegen radioactieve straling kan beschermen.	T 3, W 3

## P 1 Radioactiviteit

1

### Het meten van de achtergrondstraling

Veel materialen bevatten radioactieve stoffen en zenden radioactieve straling uit. Radioactieve straling kan worden gemeten met een telbuis die naar de uitvinders Geiger-Müllerteller wordt genoemd. Deze telbuis telt het aantal deeltjes dat in de detektor terecht komt.

Veel stoffen in onze omgeving zijn zwak radioactief. Daardoor zal een Geiger-Müllertelbuis altijd wel straling meten. De hoeveelheid straling die altijd in een gebouw of lokaal aanwezig is, noemt men de achtergrondstraling. Het doel van deze proef is de sterkte te meten van deze achtergrondstraling.

- Meet 20 keer achter elkaar telkens 10 seconden de straling die in het lokaal aanwezig is. Noteer de gegevens.
- De getallen zullen niet iedere keer hetzelfde zijn. Bereken het gemiddelde van de metingen.

2

### Straling en afstand

Een radioactieve bron zendt veel straling uit. De hoeveelheid straling die de detektor meet, hangt af van de afstand van de bron tot de detektor.

We zullen het verband tussen de gemeten straling en de afstand in deze proef bepalen.

- Ga altijd zeer zorgvuldig om met radioactieve bronnen.
- De gloeilamp van een gaslamp vormt een zeer bruikbare radioactieve bron.
- Meet op verschillende afstanden de sterkte van de straling die de detektor opvangt gedurende 10 seconden en zet je waarnemingen in een tabel.
- Herhaal de metingen drie keer en bereken bij iedere afstand het gemiddelde.
- Omdat je ook achtergrondstraling meet en je eigenlijk alleen geïnteresseerd bent in de straling van de bron, moet je je meetresultaten nog corrigeren voor de achtergrondstraling. Maak daarvoor een extra kolom met gecorrigeerde meetwaarden.
- Maak een grafiek van je metingen.
- Trek een conclusie uit je grafiek en schrijf deze op.

3

### Straling en afscherming

Het doel van de proef is te onderzoeken welk verband er bestaat tussen de sterkte van de doorgelaten straling en de dikte van de tussengeplaatste plaatjes aluminium.

- Zet plaatjes aluminium van verschillende diktes tussen een radioactieve bron en de detektor. Meet steeds drie keer gedurende tien seconden de hoeveelheid doorgelaten radioactieve straling. Zet de metingen in een tabel.
- Corrigeer de metingen weer voor de achtergrondstraling en zet de gecorrigeerde metingen in een extra kolom van de tabel.
- Maak een grafiek van de metingen.
- Trek een conclusie uit de grafiek en schrijf deze op.

## P 3 Halfwaardetijd

1

### Een simulatie (nabootsing) van radioactief verval

De kans dat een kern van een bepaalde isotoop vervalst, is voor iedere kern even groot. Toch vervallen niet alle kernen tegelijkertijd, maar zodanig dat na de halfwaardetijd de helft van het aantal kernen is vervallen. We kunnen dit proces als volgt nabootsen:

- a. Alle leerlingen in de klas schrijven een willekeurig getal op van 21 cijfers. Iedere leerling stelt een kern voor van een radioactieve isotoop.
- b. De docent schrijft ook een getal op met 21 cijfers en bepaalt zo welk atoom (welke leerling dus) vervalst. Een vervallen atoom is niet meer radioactief en kan dus niet nog eens vervallen.
- c. De docent noemt het eerste cijfer van zijn getal. Alle leerlingen die hetzelfde eerste cijfer hebben als de docent strepen hun getal door. Hun atoom is vervallen.
- d. Tel hoeveel leerlingen er nog over zijn.
- e. De docent noemt vervolgens het tweede cijfer. Alle leerlingen die hetzelfde tweede cijfer hebben, strepen hun getal door, enz.
- f. Maak een grafiek van het aantal overgebleven kernen als functie van het aantal genoemde cijfers.

Wiskundig kan worden aangetoond, dat na gemiddeld 7 cijfers ongeveer de helft van de oorspronkelijke kernen (leerlingen) vervallen is.

Na weer 7 genoemde cijfers is dan weer de helft vervallen.

Ga na in de grafiek of de afwijking groot is.



## T 1 Straling

### 1 Gebruik van radioactieve straling

Radioactieve straling wordt vaak nuttig gebruikt, maar kan ook enorm gevaarlijke uitwerkingen hebben. De hoeveelheid radioactieve straling die vrijkomt bij het ontploffen van een atoombom of bij een ernstig ongeluk met een kerncentrale kan dodelijk zijn. Dezelfde soort straling, maar dan goed gedoseerd en nauwkeurig gericht om kankercellen te doden, kan echter ook een mensenleven redden. De hoeveelheid straling is belangrijk en wordt gemeten in de eenheid sievert. Omdat de sievert een grote eenheid is gebruikt men vaak de msievert (millisievert).  
 $1 \text{ sievert} = 1000 \text{ msievert}$ .

### 2 De aard van radioactieve straling

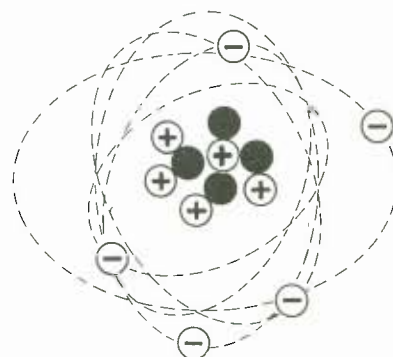
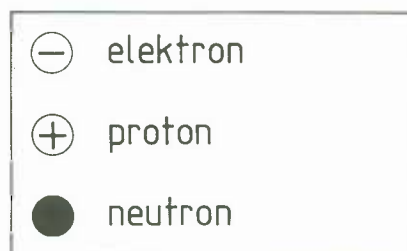
In 1896 ontdekte de Fransman Becquerel dat bepaalde zoutkristallen onzichtbare straling uitzenden die via fotografisch papier zichtbaar gemaakt kan worden. Pierre en Marie Curie gaven er de naam radioactieve straling aan en isoleerden twee sterk stralende elementen: polonium en radium. De straling komt uit de stof zelf. Onderzoek van de straling heeft ons dan ook veel geleerd over de opbouw van stoffen.

Stoffen bestaan uit molekulen. Met chemische middelen kunnen molekulen uiteengerafeld worden in een aantal basisstoffen. Er blijken in totaal zo'n honderd van die basisstoffen te bestaan. Deze basisstoffen noemen we elementen. Met chemische middelen kunnen de molekulen van deze elementen niet meer verder uit elkaar worden gerafeld. De deeltjes waaruit elementen bestaan noemen we atomen en ieder molekuul bestaat uit een of meerdere atomen. Een element bestaat dus uit allemaal dezelfde deeltjes die we atomen noemen. De atomen van verschillende elementen verschillen.

Vroeger stelde men zich die atomen voor als piepkleine bolletjes. Omdat bleek dat radioactieve straling uit de atomen zelf kwam, moest men wel aannemen dat de atomen weer uit andere deeltjes bestonden. Onder andere door bestudering van radioactieve straling weten we nu dat atomen als volgt zijn opgebouwd (zie afbeelding).

- Midden in het atoom zitten twee soorten deeltjes dicht bij elkaar gepakt in de kern: protonen en neutronen. De protonen zijn elektrisch positief geladen. De neutronen hebben geen lading. Beide hebben dezelfde massa (zie tabel). De neutronen zorgen ervoor dat de positieve protonen bij elkaar in de kern blijven.
- Om de kern heen draaien elektronen. Elektronen hebben een negatieve lading, die verder precies even groot is als de positieve lading van een proton. Omdat positieve en negatieve ladingen elkaar aantrekken trekt de positieve kern de negatieve elektronen aan. De massa van een elektron is 1839 keer zo klein als die van een proton of een neutron. De totale lading van een atoom is onder gewone omstandigheden neutraal. Er cirkelen dus evenveel elektronen om de kern als er protonen in de kern zitten.
- De rest van het atoom is lege ruimte. Als een elektron, een proton, een neutron, of zelfs een kleine atoomkern in de richting van een atoom wordt geschoten, heeft het grote kans er dwars doorheen te vliegen.

Scheikundige processen spelen zich af tussen de elektronen van de atomen. Het aantal elektronen van een atoom en de afstand tot de kern is van belang voor scheikundige processen. Straling komt echter uit de kern van de atomen.



deeltje	massa (kg)	lading (C)
proton	$1,67261 \times 10^{-27}$	$1,6021892 \times 10^{-19}$
neutron	$1,67492 \times 10^{-27}$	
elektron	$9,10956 \times 10^{-31}$	$-1,6021892 \times 10^{-19}$

### 3 Soorten straling

De meeste atoomkernen zijn stabiel: ze blijven eeuwig en altijd hetzelfde. Bij sommige elementen echter schiet er wel eens een deeltje uit een atoomkern. Dat gebeurt bijvoorbeeld bij de elementen radium, polonium en uranium. We noemen deze elementen dan radioactief. De atoomkernen van radioactieve elementen zijn instabiel. Ze kunnen 'vervallen' en zenden dan radioactieve straling uit. De drie belangrijkste soorten straling zijn:

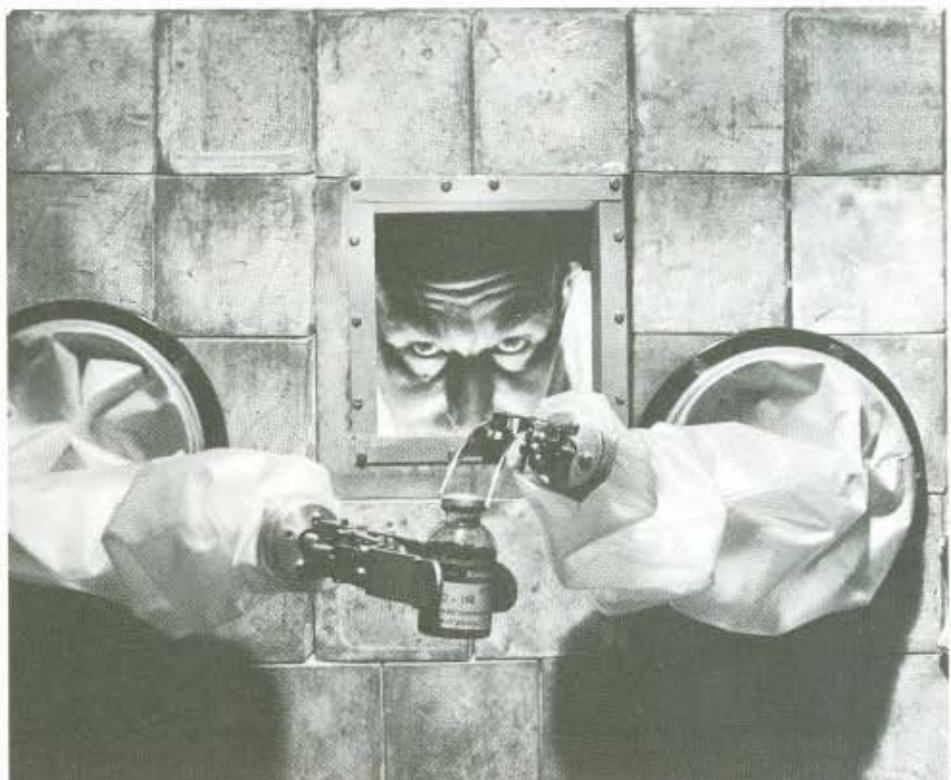
**Alfastraling ( $\alpha$ -straling).** Als een kern alfastraling uitzendt, vliegt er een stukje van de kern weg, dat bestaat uit twee protonen en twee neutronen. De kern die overblijft heeft dus twee protonen en twee neutronen minder dan oorspronkelijk. De resterende kern is dan ook van een ander element dan de oorspronkelijke kern.

**Bètastraling ( $\beta$ -straling).** Als een kern bètastraling uitzendt, gaat in de kern een neutron spontaan over in een proton en een elektron. Het proton blijft in de kern zitten, maar het elektron schiet weg. Dit wegschietende elektron noemen we bètastraling. De kern die overblijft heeft dus een proton meer en een neutron minder dan het oorspronkelijke atoom. De resterende kern is dan ook weer van een ander element dan de oorspronkelijke kern.

**Gammastraling ( $\gamma$ -straling).** De kern bestaat uit tegen elkaar gestapelde neutronen en protonen. Soms verschuift er iets in die kern waardoor de deeltjes beter gestapeld komen te liggen. De vrijkomende energie wordt uitgezonden als gammastraling. Gammastraling bestaat dan ook niet uit een deeltje, maar is een elektromagnetische golf, net als licht. Omdat er geen deeltjes uit de kern verdwijnen is de resterende kern van hetzelfde element als de oorspronkelijke kern.

Naast deze drie soorten straling zijn er ook nog andere soorten straling, zoals neutronen-, protonen- en röntgenstraling. Neutronen- en protonenstraling wordt kunstmatig gemaakt in kernreactoren en versnellers. Röntgenstraling wordt opgewekt in een röntgenbuis door elektronen met grote snelheid tegen een metaal te laten botsen.

Al deze soorten straling hebben de eigenschap dat ze atomen van andere stoffen kunnen ioniseren. Ioniseren houdt in dat een of meerdere van de elektronen die rond de kern draaien, worden weggeschoten. Daarom worden deze soorten straling ook wel ioniserende straling genoemd.



## T 2 Gebruik van straling

### 1 Inwerking van straling op het lichaam

Als alfa-, bèta- of gammastraling een voorwerp treft, zal een gedeelte van die straling geabsorbeerd worden door dat voorwerp, de rest van de straling gaat gewoon door dat voorwerp heen. Hoeveel geabsorbeerd wordt hangt af van het soort voorwerp en van de soort straling.

De straling die wordt geabsorbeerd veroorzaakt veranderingen in de atomen van dat voorwerp. Overal waar de straling passeert worden elektronen weggeslagen uit de atomen. De straling heeft een ioniserende werking. Soms veroorzaakt de straling zelfs veranderingen in de atoomkern.

Hetzelfde geldt als straling het menselijk lichaam treft. De veranderingen die de straling in menselijk weefsel veroorzaakt zijn schadelijk voor het weefsel (zie tabel).

dosis in mSv	periode	directe gevolgen
50	jaar	geen
vanaf 200	ineens	vermindering van het aantal witte bloedlichaampjes; geen uiterlijke ziekteverschijnselen
vanaf 500	ineens	tijdelijke steriliteit bij de man
vanaf 1000	ineens	a) geringe verschijnselen van „stralingsziekte” binnen enkele uren na bestraling, nl. vermoeidheid, braken, diarree, koorts b) verminderde weerstand tegen infecties; verandering in het bloedbeeld c) bij kinderen: beschadigingen van de groeizones in het skelet, waardoor de normale groei in de beenderen wordt geremd d) steriliteit bij de man gedurende een jaar
vanaf 2000	ineens	ernstige stralingsziekte als gevolg van beschadiging van beenmerg en lymfeklieren („beenmergsyndroom”), in minder dan de helft van de gevallen gevolgd door sterfte binnen een maand t.g.v. inwendige bloedingen
vanaf 3000	ineens	ernstige stralingsziekte, sterfte in meer dan 50% van gevallen  permanente steriliteit bij vrouw
vanaf 4000	ineens	in nagenoeg alle gevallen sterfte binnen een maand
vanaf 10 000	ineens	sterft binnen een week door beschadiging van de dunne darm („darmsyndroom”)
vanaf 50 000	ineens	sterfte binnen enkele uren tot dagen door beschadiging van het centraal zenuwstelsel (beven, toevallen)

Direkte stralingseffekten.

Mensen die beroepshalve met radioactieve stoffen werken, mogen per jaar niet meer dan 5 mSv ontvangen

Toch gebruikt men bij bepaalde ziektes bewust stoffen die radioactief zijn en straling uitzenden. Dat hangt samen met de volgende drie eigenschappen van radioactieve stoffen:

1. Je kunt precies nagaan waar de radioactieve stof zich in het lichaam bevindt, omdat er meetinstrumenten bestaan die de straling ervan kunnen meten (bijvoorbeeld de Geiger-Müllertelbuis). Hiervan kun je gebruik maken als je wilt weten welke lichaamsorganen bepaalde stoffen opnemen.



2. Straling van radioactieve stoffen kan cellen doden. Hiervan kun je gebruik maken als je bepaalde lichaamscellen wilt doden. Een vergrote schildklier wordt bijvoorbeeld kleiner als men radioactief jodium inspuist, omdat jodium zich voornamelijk ophoopt in de schildklier.

3. De radioactiviteit van stoffen verdwijnt langzamerhand. De snelheid waarmee dit gebeurt is voor elke stof anders. Na een bepaalde tijd merk je dus haast niets meer van het effect.

## 2 Radioactieve stoffen

In T 1 heb je geleerd dat er in de natuur slechts een klein aantal radioactieve stoffen voorkomt. Toch worden er in de medische wereld vele radioactieve stoffen gebruikt. Deze stoffen zijn kunstmatig gemaakt. Men gaat uit van normale elementen, die radioactief worden gemaakt. Dat gebeurt onder andere in kernreactoren.

Voor medische toepassingen is het noodzakelijk dat een radioactieve stof precies dezelfde chemische (en dus biologische) eigenschappen heeft als de niet-radioactieve stof. Het lichaam moet bijvoorbeeld geen onderscheid kunnen maken tussen gewoon en radioactief jodium. Het radioactieve jodium komt dan net als het gewone jodium in de schildklier.

De vraag is waarin radioactief jodium zich onderscheidt van niet-radioactief jodium. Omdat beide stoffen precies dezelfde chemische eigenschappen hebben, weten we zeker dat het aantal elektronen van beide soorten atomen hetzelfde is. Maar dan is ook het aantal protonen in de kern van gewoon en radioactief jodium hetzelfde. In neutrale toestand is immers het aantal protonen in de kern gelijk aan het aantal elektronen rond de kern. Alleen het aantal neutronen kan verschillen. Doordat radioactief jodium extra neutronen in de kern heeft is de kern instabiel en radioactief.

Elementen met in de atoomkern hetzelfde aantal protonen, maar met een verschillend aantal neutronen noemen we isotopen van elkaar. De radioactieve isotoop jodium in ziekenhuizen heeft 4 neutronen meer dan de isotoop jodium die normaal in de natuur voorkomt. Toch hebben beide isotopen dezelfde chemische eigenschappen.

Om de verschillende isotopen van elkaar te onderscheiden schrijft men bij iedere isotoop hoeveel protonen en neutronen er samen in de kern zitten.

In gewoon jodium zitten 53 protonen en 74 neutronen. Deze isotoop noemt men dan ook jodium-127. De radioactieve isotoop met 4 neutronen meer heet jodium-131.

## 3 Radioactief verval

Een radioactieve stof zendt op den duur steeds minder straling uit. Een oplossing met de radioactieve isotoop jodium-131 zendt na iets meer dan een week nog maar half zoveel straling uit als in het begin. Bij stoffen als uranium en plutonium duurt dat overigens veel langer, wel honderdduizenden jaren.

Hoe dat komt is als volgt in te zien. Een jodiumoplossing bevat bijvoorbeeld 100 000 atomen van de radioactieve isotoop jodium-131. Uit metingen weten we dat jodium bètastraling uitzendt. In ieder van die 100 000 atomen zal dus één neutron worden omgezet in één proton en één elektron. Maar dat gebeurt niet tegelijkertijd. Het blijkt dat er in 8,1 dagen steeds de helft van de oorspronkelijke hoeveelheid vervalst. Na 8,1 dagen zijn er dus nog ongeveer 50 000 radioactieve atomen over. De andere 50 000 atomen zijn omgezet in atomen van een ander element.

Nog 8,1 dagen later is weer de helft van die 50 000 atomen vervallen en zijn er nog maar 25 000 radioactieve atomen over. Na 32,4 dagen ( $4 \times 8,1$  dagen) zijn er nog ongeveer 6250 over. Ook de stralingsactiviteit vermindert. In de eerste 8,1 dagen kwamen er 50 000 bètadeeltjes uit het jodium. In de volgende 8 dagen nog maar ongeveer 25 000.

Men noemt de tijd waarin de helft van de atomen van een radioactieve stof vervalst de halfwaardetijd van die stof. De halfwaardetijd van jodium-131 is 8,1 dag.

# T 3 Stralingsbescherming

## 1 Doordringingsvermogen

Omdat straling meestal schadelijk is, moeten werknemers die werken met stralingsbronnen worden beschermd. Hoe ze zich moeten beschermen hangt af van de soort straling. Je zou misschien verwachten dat het voldoende is om kleding te dragen om ervoor te zorgen dat er geen straling in je lichaam komt. Straling kan echter (gedeeltelijk) door materie heengaan. Ze botst dan wel tegen sommige atomen, maar wordt niet helemaal tegengehouden. Hoeveel straling er door materie wordt geabsorbeerd en hoeveel er wordt doorgelaten hangt af van de soort straling en van de soort materie.

Alfastralen worden bijvoorbeeld al geabsorbeerd door een dun laagje lucht en zeker door gewone kleding. Voor het absorberen van gammastralen zijn (bijvoorbeeld in een kerncentrale) dikke betonnen en loden wanden noodzakelijk (zie tabel hieronder). Men zegt dat het doordringingsvermogen van de alfastralen zeer gering is en dat van gammastraling zeer groot.

### Natuurlijke radioactieve straling

Soort straling	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
de straling bestaat uit	kernen van heliumatomen	elektronen	elektro-magnetische golven met kleine golflengte
lading	positief, $3,2 \cdot 10^{-19}$ C	negatief, $-1,6 \cdot 10^{-19}$ C	geen lading
massa	$6,6 \cdot 10^{-27}$ kg	$9,1 \cdot 10^{-31}$ kg	geen massa
snelheid (percentage van de lichtsnelheid)	1-5%	tot 99%	100%
doordringings- vermogen	in lucht enkele centimeters wordt door een vel papier tegengehouden	in lucht enkele meters, in metalen millimeters	zelfs in lood vele centimeters
ioniserend vermogen	groot	klein	zeer klein

De volgorde in doordringingsvermogen van verschillende soorten straling is als volgt:

1. alfastralen (zeer klein doordringingsvermogen);
2. bètastralen (middelmatig doordringingsvermogen);
3. gammastralen (zeer groot doordringingsvermogen).

Tussen bètastraling onderling is er nog wel verschil net als tussen alfa- en gammastraling onderling. Energierijke bètastralen (dat zijn zeer snelle elektronen) hebben een groter doordringingsvermogen dan minder energierijke bètastralen.

## 2 Dracht

Dezelfde soort straling dringt niet in iedere stof even ver door.

Gammastraling gaat met gemak door een papieren wand van 1 meter maar komt nauwelijks door een loden wand van een meter. In het algemeen kun je zeggen dat de bescherming tegen straling beter is:

1. Als de dichtheid van de beschermende stof groter is. Daarom beschermen gassen meestal minder dan vloeistoffen en die weer minder dan vaste stoffen.
2. Als de dikte van de beschermende stof groter is. Een dikke betonnen muur absorbeert meer straling dan een dunne.

De dracht is de afstand die de meest energierijke straling nog in een stof aflegt voordat ze geheel is geabsorbeerd. Zo is bijvoorbeeld de dracht in lood van gammastralen die vrijkomen bij het verval van uranium ongeveer 1,2 m.

### W 1 Straling

1

- Beschrijf wat er gebeurt als een uraniumkern (92 protonen en 143 neutronen) vervalst en een alfadeeltje uitzendt.
- Bereken het aantal neutronen en protonen in de kern die na de reactie aanwezig is.
- Zoek in het periodiek systeem van elementen op hoe deze kern heet.
- Ga na hoeveel elektronen er om de oorspronkelijke uraniumkern draaien en hoeveel er om de nieuwe kern zullen draaien (als de atomen allemaal ongeladen zijn). Waar zijn volgens jou de andere elektronen gebleven?

2

- Bereken de massa van de uraniumkern uit opgave 1.
- Bereken ook de massa van de kern die ontstaat na het alfaverval.

3

Bereken de lading van de uraniumkern uit opgave 1.

4

- Beschrijf wat er gebeurt als een strontiumkern (38 protonen en 52 neutronen) vervalst en een bètadeeltje uitzendt.
- Bereken het aantal neutronen en protonen in de kern die na de reactie aanwezig is.

5

- Beschrijf wat er gebeurt als een cesiumkern (55 protonen en 82 neutronen) gammastraling uitzendt.
- Bereken het aantal neutronen en protonen in de kern die na de reactie aanwezig is.

### W 2 Gebruik van straling

1

Met een stralingsmeter meet men de radioactiviteit van een bepaalde afvalstof uit een kernreaktor, die uit slechts één element bestaat. De metingen zijn als volgt:

t (min)	straling (deeltjes per seconde)
0	2010
1	1645
2	1412
3	1177
4	998
5	832
6	702
7	591
8	502
9	415
10	351
11	292
12	254

- In de ruimte waarin wordt gemeten, is ook zonder een bron altijd wat radioactieve straling aanwezig. Deze achtergrondstraling bedraagt in de meetruimte gemiddeld 25 deeltjes per seconde. Corrigeer de meetwaarden in de tabel voor de achtergrondstraling en zet de goede meetwaarden in een nieuwe tabel.

- b. Maak een grafiek van deze metingen.
- c. Bepaal voor drie of vier verschillende intervallen de halfwaardetijd van dit element.
- d. Theoretisch kan worden aangetoond dat de halfwaardetijd van een element altijd hetzelfde is. Bereken het gemiddelde van de in c bepaalde halfwaardetijden.

2

Twee elementen zijn op tijdstip  $t = 0$  even radioactief. Ze zenden allebei 20 000 deeltjes per seconde uit.

Radioactief element A heeft een halfwaardetijd van 8,1 dag.

Radioactief element B heeft een halfwaardetijd van 14,3 dag.

- a. Teken in een grafiek hoe de radioactiviteit van element A afneemt in 60 dagen.
- b. Teken in dezelfde grafiek hoe de radioactiviteit van element B afneemt in 60 dagen.

3

De halfwaardetijd van een radioactief element is 5570 jaar.

- a. Na hoeveel tijd zal er nog maar  $1/32$  (ongeveer 3%) van de oorspronkelijke hoeveelheid van dit element over zijn?
- b. Na hoeveel tijd zullen alle kernen van dit element zijn vervallen?

## W 3 Stralingsbescherming

1

Verklaar waarom het wel ernstig is als je een stof inslikt die alfastralen uitzendt, maar vrij ongevaarlijk als je die stof op je kleren morst.



## H 1 Straling

Een atoomkern bestaat uit protonen en neutronen. Daaromheen draaien elektronen. De elektronen zijn elektrisch negatief geladen en worden aangetrokken door de positieve protonen in de kern.

Het aantal protonen in de kern bepaalt met welk element we te maken hebben. Een kern met 6 protonen is altijd van het element koolstof, een kern met 94 protonen in de kern is altijd van het element plutonium.

Het aantal elektronen dat rond de kern draait is meestal gelijk aan het aantal protonen. Koolstof heeft dus meestal 6 elektronen rond de kern. Als het aantal elektronen rond de kern kleiner is dan het aantal protonen in de kern zal de kern proberen een langskomend elektron in te vangen.

Als een atoom meer of minder elektronen bevat dan er protonen in de kern zitten, noemen we zo'n atoom geïoniseerd.

Het aantal neutronen in de kern is groter of gelijk aan het aantal protonen in de kern. Niet alle kernen van een element hoeven hetzelfde aantal neutronen te hebben. De meeste koolstofkernen hebben bijvoorbeeld 6 neutronen in de kern, maar sommige hebben 8 neutronen in de kern. Scheikundig en biologisch is er geen onderscheid tussen deze twee soorten koolstofatomen.

Twee kernen die scheikundig helemaal identiek zijn, maar alleen een verschillend aantal neutronen in de kern hebben, noemt men isotopen van elkaar.

Atoomkernen kunnen stabiel of radioactief zijn. Stabiele atoomkernen blijven altijd hetzelfde. Radioactieve atoomkernen zullen vroeger of later straling uitzenden. De overblijvende kern kan dan weer stabiel zijn of ook weer radioactief.

Radioactieve kernen kunnen op drie manieren straling uitzenden:  $\alpha$ -,  $\beta$ - en  $\gamma$ -straling. Of een kern stabiel is of welke soort straling een bepaalde kern zal uitzenden, hangt af van het element.

Sommige atoomkernen zenden alfastraling ( $\alpha$ -straling) uit. Een alfadeeltje bestaat uit 2 protonen en 2 neutronen. Plutonium bijvoorbeeld heeft altijd 94 protonen in de kern en meestal 145 neutronen. Deze kernen zenden alfastralen uit. Als deze plutoniumkern een alfadeeltje heeft uitgezonden heeft het nog maar 92 protonen in de kern en 143 neutronen. Alle kernen die 92 protonen in de kern hebben zijn van het element uranium. Deze uraniumkern is overigens zelf ook weer radioactief.

Andere atoomkernen zenden bètastraling ( $\beta$ -straling) uit. Een bètadeeltje is niets anders dan een elektron dat uit de kern komt. Het elektron ontstaat doordat in de kern een neutron wordt omgezet in een proton en een elektron. Een zeldzame koolstofisotoop heeft bijvoorbeeld 6 protonen en 8 neutronen in de kern. Deze kernen zenden bètastraling uit. Als zo'n koolstofkern een bètadeeltje heeft uitgezonden bevat de kern 7 protonen en 7 neutronen. Net als iedere kern die 7 protonen heeft is dit een stikstofkern.

De derde soort straling die kan worden uitgezonden is gammastraling ( $\gamma$ -straling). Daarbij verliest de kern geen deeltjes maar alleen energie. Een technetiumkern bevat 43 protonen en 56 neutronen. Deze kernen zenden gammastraling uit, maar bevatten ook daarna nog steeds 43 protonen en 56 neutronen. Het blijven dan ook technetiumkernen. Als een technetiumkern een keer gammastraling heeft uitgezonden kan die niet daarna nog eens gammastraling uitzenden.

## H 2 Halfwaardetijd

Als een element radioactief is, vervalst er in een bepaalde tijd steeds een even groot gedeelte van de aanwezige radioactieve kernen. De tijd waarin de helft vervalst noemt men de halfwaardetijd.

Stel we starten met 32 miljoen radioactieve kernen die een halveringstijd hebben van 2 minuten en bètastralen uitzenden. Dat betekent dat na twee minuten er nog maar 16 miljoen radioactieve atomen over zijn en dat er in die twee minuten 16 miljoen bètadeeltjes zijn uitgezonden. Misschien verwacht je dat twee minuten later er dan wel helemaal geen radioactieve kernen meer over zijn. Maar de natuur zit anders in elkaar. In de volgende twee minuten vervalst namelijk de helft van de overblijvende 16 miljoen kernen, dat zijn dus 8 miljoen kernen. Er blijven dan nog 8 miljoen kernen over. De volgende 2 minuten vervallen er daar weer 4 miljoen van.

Na 2 minuten is dus nog  $1/2$  over van het oorspronkelijk aantal.

Na 4 minuten is dus nog  $1/4$  over van het oorspronkelijk aantal.

Na 6 minuten is dus nog  $1/8$  over van het oorspronkelijk aantal.

Na 8 minuten is dus nog  $1/16$  over van het oorspronkelijk aantal.

Na 10 minuten is dus nog  $1/32$  over van het oorspronkelijk aantal.

### E 1 Werking van een kernreaktor

De werkzame stof in een kernreaktor is meestal uranium. Sommige uraniumkernen hebben de bijzondere eigenschap dat ze in twee stukken kunnen breken als ze getroffen worden door een neutron. Bovendien komen er daarbij ook nog enkele losse neutronen vrij. De uraniumkernen waarbij dit mogelijk is, hebben 92 protonen in de kern en 143 neutronen. Als er een neutron in deze kern terecht komt, ontstaan er twee brokstukken: bijvoorbeeld strontium met 38 protonen en 56 neutronen in de kern en xenon met 54 protonen en 85 neutronen in de kern.

Als je alles goed natelt zul je zien dat er nog drie neutronen ontbreken. Deze neutronen worden los van elkaar uitgezonden bij de kernsplijting. Bovendien komt er energie vrij in de vorm van warmte.

Het zal je opvallen dat er één neutron nodig was om de splijting van het uranium te veroorzaken en dat er daardoor weer drie nieuwe neutronen ontstaan. Deze drie neutronen zouden theoretisch in staat zijn om weer drie nieuwe uraniumkernen te splijten enz. Zo ontstaat een kettingreactie.

In de natuur gebeurt iets dergelijks nooit. Alleen de isotoop van uranium met 143 neutronen in de kern, U-235, heeft namelijk deze eigenschap. In de natuur is maar 0,7% van alle uraniumkernen van deze isotoop. Daardoor is er maar een kleine kans dat een van de drie neutronen die bij een splijting vrijkomen, weer een splijtbare uranium-235 kern treft.

Als het U-235 meer geconcentreerd zou zijn, zou die kans veel groter zijn. Er treedt een kettingreactie in uranium op als er gemiddeld één vrijgekomen neutron weer een andere U-235 kern treft.

In een kernreaktor maakt men gebruik van verrijkt uranium. Met behulp van centrifuges is men er in geslaagd om een gedeelte van de ongewenste uraniumkernen te verwijderen, zodat het percentage U-235 kernen toeneemt.

Men loopt daarbij echter het gevaar dat de kettingreactie uit de hand loopt. In zeer korte tijd komt er dan enorm veel energie vrij. Dat is het effect van de atoombom. Men dient er in een kerncentrale voor te zorgen, dat van de neutronen die bij een splitsing vrijkomen er precies gemiddeld één weer een nieuwe splitsing veroorzaakt. Dit doet men door tussen de uraniumstaven regelstaven te schuiven die neutronen absorberen. Met behulp van elektronika wordt de kettingreactie gecontroleerd. Als er steeds meer neutronen komen, worden de regelstaven verder tussen het uranium geduwd, zodat het aantal neutronen weer zal afnemen. Zo houdt men dus het aantal neutronen dat per seconde een splijting veroorzaakt constant.

Door alle kernsplijtingen worden de uraniumstaven enorm verhit. De staven worden gekoeld door een koelmiddel en de vrijkomende warmte kan worden gebruikt om stoom te vormen die een turbine aandrijft voor elektriciteitsproductie.

