

Wat je moet kennen en kunnen aan het eind van blok 16

1 Je moet weten dat een atoom is opgebouwd uit een kern met protonen en neutronen en dat de elektronen daaromheen draaien. [T1, W1]

2 Je moet weten dat elektronen en atoomkernen aantrekkende krachten op elkaar uitoefenen en dat de elektronen elkaar onderling afstoten. Ook kernen stoten elkaar onderling af. [T1, W1]

3 Je moet weten wat isotopen zijn en dat isotopen van hetzelfde element evenveel protonen bevatten, maar een verschillend aantal neutronen. [T1, W1]

4 Je moet weten dat α -, β - en γ -straling afkomstig zijn uit de kernen van radioactieve atomen. [P2, T2, W2]

5 Je moet weten dat de atoomkernen veranderen door het uitzenden van straling. [P2, T2, W2]

6 Je moet weten wat α -, β -, γ - en röntgenstraling zijn en weten welke eigenschappen de verschillende stralingssoorten bezitten. [P2, T2, W2]

7 Je moet weten dat A het symbool is voor activiteit en dat de hoeveelheid activiteit wordt gegeven in de eenheid becquerel (Bq). [P2, T2, W2]

8 Je moet weten dat straling celweefsel kan beschadigen. [P3, T3, W3]

9 Je moet weten dat straling wordt toegepast in de medische wetenschap. [P3, T3, W3]

10 Je moet weten dat het doordringend vermogen van straling (de dracht) in een stof afhangt van de soort straling en de soort stof. [P3, T3, W3]

11 Je moet weten dat stabiele isotopen geen α -, β - en γ -straling uitzenden en dat instabiele (radioactieve) isotopen dit wel doen. [P2, T2, W2]

12 Je moet met behulp van de halveringstijd kunnen uitrekenen hoeveel radioactief materiaal er na een bepaalde tijd nog is overgebleven. [P3, T3, W3]

13 Je moet weten hoe men zich tegen straling kan beschermen. [P3, T3, W3]

14 Je moet weten wat het verschil is tussen kernsplijting en kernfusie. [P3, T3, W3]

Blok 16

Radioactief

Basisstof

T1 Bouw van de materie 204

W1 207

T2 Straling 208

W2 211

T3 Werken met straling 212

W3 216

Herhaalstof

H1 Radioactiviteit 217

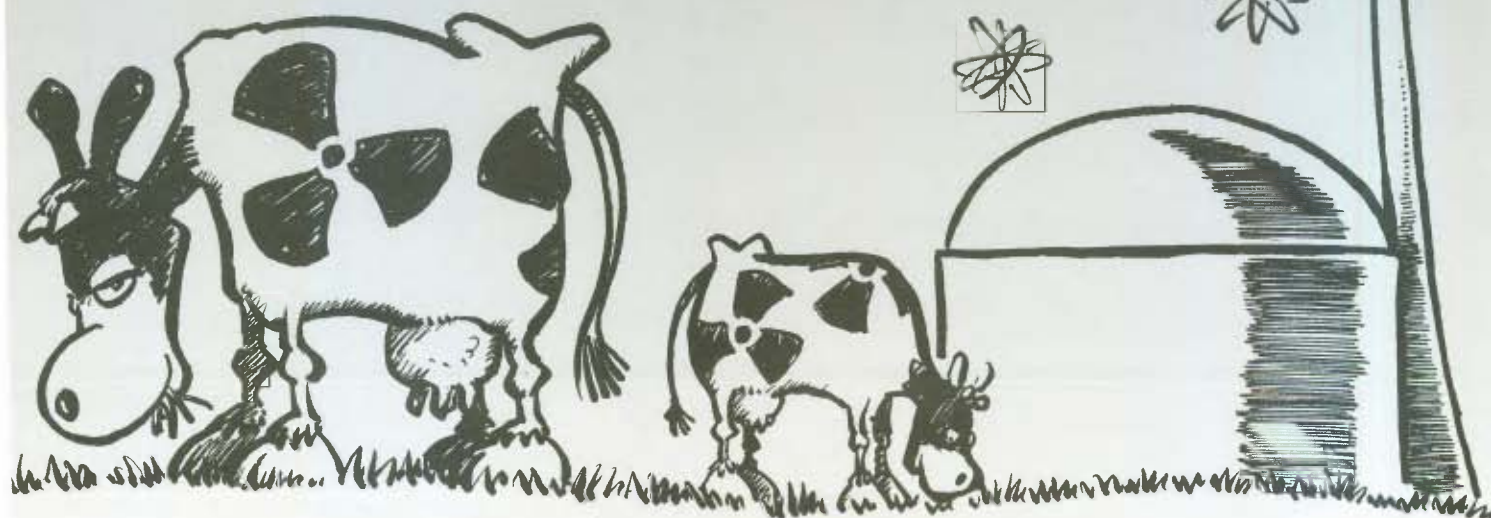
H2 Halveringstijd 218

Extrastof

E1 Elektriciteit uit kernenergie 220

E2 Halveringstijd 222

E3 Opgaven 223



α -, β - en γ -straling

Bijna iedereen kent het begrip radioactieve straling. Te weinig mensen weten wat dit betekent. Je zult in dit blok veel over deze straling leren. Radioactieve straling kan nuttig maar ook schadelijk zijn. Goed gedoseerd en nauwkeurig gericht kan γ -straling bijvoorbeeld kankercellen doden en zo een mensenleven redden. De hoeveelheid radioactieve straling die vrijkomt bij het ontploffen van een atoombom of bij een ernstig ongeluk met een kerncentrale kan dodelijk zijn.

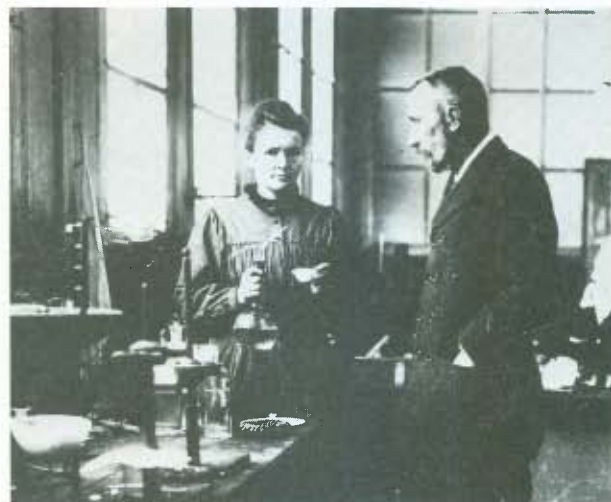
De straling is ontdekt in 1896. De Fransman Becquerel merkte dat bepaalde stoffen onzichtbare straling uitzenden die met fotografisch papier zichtbaar gemaakt kan worden. Pierre en Marie Curie gaven er de naam 'radioactieve straling' aan. Zij ontdekten twee sterk stralende elementen: polonium en radium.

De naam 'radioactieve straling' wordt veel gebruikt maar is eigenlijk onjuist en verwarrend. Radioactief betekent: 'straling uitzendend'. Je kunt dus wél spreken van radioactieve stoffen. Dat zijn stoffen die een bepaalde soort straling uitzenden. We zullen daarom de term 'radioactieve' straling in dit blok niet meer gebruiken.

Om te begrijpen wat de straling, afkomstig van radioactieve stoffen is en hoe ze ontstaat, moet je meer weten van de bouw van stoffen. Een deel van deze kennis leer je ook bij scheikunde. We gaan kijken naar de allerkleinste deeltjes die er zijn.

fig. 1

Marie Curie (1859-1934).



Marie Curie (1859-1934) was een van de eerste belangrijke vrouwelijke natuurkundigen. Zij kreeg in 1903 samen met haar man Pierre (1867-1906) en de Fransman Henri Becquerel (1852-1908) de Nobelprijs voor natuurkunde en in 1911 ontving zij de Nobelprijs voor scheikunde. In 1898 ontdekte zij het radioactieve element polonium, dat zij naar haar vaderland noemde. Samen met haar man ontdekte ze in hetzelfde jaar het radioactieve element radium, waarvan de naam is afgeleid van het Latijnse woord radius (straal).

Bouw van de materie: molekulen en atomen

Alle stoffen zijn opgebouwd uit molekulen. Molekulen zijn heel kleine deeltjes, die alleen met de allersterkste microscopen zichtbaar te maken zijn.

We nemen als voorbeeld water. In een druppel water zitten ongeveer 10^{21} (dat is een 1 met 21 nullen!) molekulen. Al deze molekulen zijn precies gelijk aan elkaar. Als we een watermolekuul uiteenrafelen, blijkt dat het is opgebouwd uit drie nog kleinere deeltjes (figuur 4). We noemen ze atomen. Eén molekuul water blijkt te bestaan uit twee atomen waterstof en één atoom zuurstof. Deze deeltjes kunnen met normale middelen niet verder opgedeeld worden.

Er zijn miljoenen verschillende stoffen. Alle molekulen van dezelfde stof zijn hetzelfde. Er zijn dus miljoenen verschillende molekulen. Er zijn niet zoveel verschillende atoomsoorten nodig om al die verschillende molekulen te vormen. Er blijken slechts zo'n honderd verschillende soorten atomen te bestaan. Stoffen bestaande uit één soort atomen worden *elementen* genoemd.

Heel grote molekulen zijn de molekulen van de stof DNA. Eén DNA-molekuul kan honderdduizenden atomen bevatten. DNA is een stof die in iedere cel van ieder levend wezen voorkomt. Met behulp van DNA worden onze erfelijke eigenschappen doorgegeven.

De middellijn van een atoom is ongeveer 10^{-10} m; dat is het tienmiljardste deel van een meter. Een rij van tien miljoen atomen is ongeveer 1 mm lang. Eén mg ijzer bevat zoveel atomen dat je er op iedere vierkante centimeter van de aarde twee kunt leggen.

fig. 6
Tabel van enkele elementen met de scheikundige symbolen.

waterstof	H
helium	He
koolstof	C
zuurstof	O
ijzer	Fe
koper	Cu
polonium	Po
radium	Ra
uranium	U

fig. 2
Molekulen, zichtbaar gemaakt met een elektronenmicroscop.



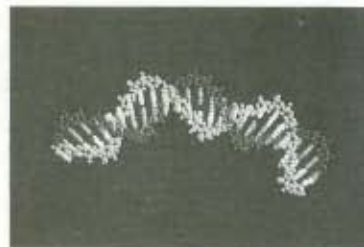
fig. 3
Met dit apparaat kunnen we water ontleden in waterstof en zuurstof. Daarbij wordt ieder watermolekuul opgedeeld in drie atomen: twee waterstofatomen en één zuurstofatoom.



fig. 4
De bouw van een watermolekuul.



fig. 5
Model van een DNA-molekuul.

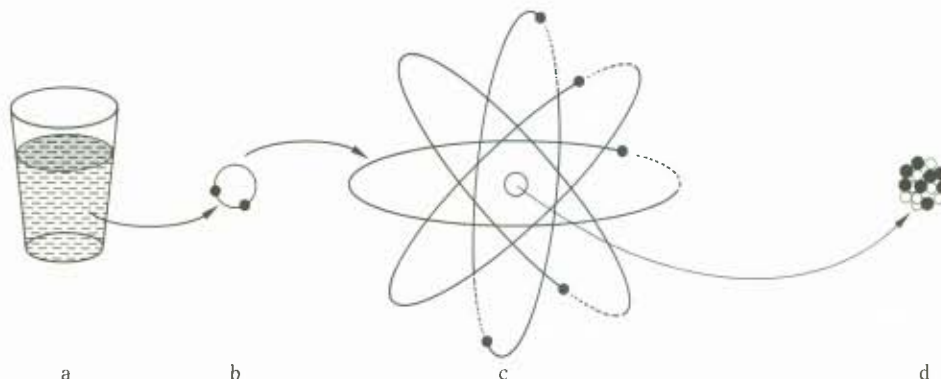


Bouw van het atoom

Atomen zijn kleiner dan molekulen. Vroeger stelde men zich die atomen voor als piepkleine bolletjes. Omdat bleek dat er deeltjes uit de atomen konden ontsnappen, moest men wel aannemen dat de atomen op hun beurt óók zijn opgebouwd uit kleinere deeltjes. Onder andere door bestudering van de verschillende soorten straling, weten we nu meer van de bouw van de atomen (figuur 7).

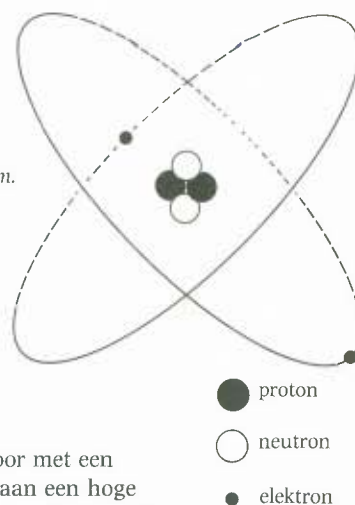
Het grootste deel van een atoom is lege ruimte. Midden in het atoom zit de kern. De kern bestaat uit twee soorten deeltjes: *protonen* en *neutronen*. De protonen zijn elektrisch positief geladen. De neutronen hebben geen lading. Protonen en neutronen hebben bijna dezelfde massa. Om de kern heen draaien elektronen. Elektronen hebben een negatieve elektrische lading, die precies even groot is als de positieve lading van een proton. De massa van een elektron is meer dan 1800 maal zo klein als de massa van een proton of neutron. Het atoom is onder normale omstandigheden elektrisch neutraal. Er cirkelen dus evenveel elektronen om de kern als er protonen in de kern zitten.

fig. 8
Van groot naar klein: Een glas water (a) bevat heel veel waterdeeltjes. Het kleinste waterdeeltje is een watermolekuul (b). Het watermolekuul bestaat uit drie atomen. Ieder atoom (c) bestaat uit een kern met daaromheen een wolk elektronen. De kern (d) bestaat uit twee soorten deeltjes: protonen en neutronen.



In een vaste stof trillen de atomen op vaste plaatsen in een rooster. De elektronen zijn gebonden aan de atoomkernen. In een metaal kunnen een deel van de elektronen bewegen door van het ene atoom naar het andere te springen. Dit zijn de zogenaamde geleidings-elektronen of vrije elektronen. Dankzij deze elektronen kan er in een metaal een elektrische stroom lopen.

fig. 7
Model van een atoom.



Stel je een bol voor met een middellijn gelijk aan een hoge kerktoren. In het midden van die bol bevindt zich een knikker. Dat stelt de kern voor. En hier en daar zwerft er in de bol een speldepuntje rond: een elektron. Zó leeg is een atoom.

Als een elektron, een proton, een neutron, of zelfs een kleine atoomkern in de richting van een atoom wordt geschoten, heeft het dus een grote kans er ongehinderd dwars doorheen te vliegen.

fig. 9
Deeltjes binnen het atoom.

deeltje	plaats	massa	elektrische lading
proton	in kern	zwaar	positief
neutron	in kern	zwaar	geen
elektron	om kern	licht	negatief

Ionen

In atomen en molekulen is het aantal protonen gelijk aan het aantal elektronen. Atomen en molekulen zijn daardoor elektrisch neutraal. Onder bepaalde omstandigheden kunnen atomen of molekulen elektronen kwijtraken of er elektronen bij krijgen. Een atoom met

te veel elektronen (elektronenoverschot) is negatief geladen, een atoom met te weinig elektronen (elektronentekort) is positief geladen. Atomen met een elektronenoverschot of een elektronentekort worden *ionen* genoemd.

Isotopen

We bekijken het zuurstofatoom. In de kern van dat atoom bevinden zich 8 protonen en 8 neutronen. In de kern zitten 8 positieve deeltjes, dus moeten er nog 8 negatieve deeltjes zijn om het atoom neutraal te maken. Er zitten daarom 8 elektronen in een wolk om de kern. Maar niet alle zuurstofatomen zijn hetzelfde. Zo zijn er zuurstofatomen met 9 neutronen in de kern. Daar is aan de 'buitenkant' van het atoom niets van te merken.

Zulke atomen, met 8 protonen en 9 neutronen, zijn óók echte zuurstofatomen. Zij gedragen zich bij chemische reacties precies hetzelfde als zuurstofatomen met 8 protonen en 8 neutronen in de kern. De twee soorten zuurstofatomen noemen we *isotopen* van zuurstof. Isotopen van één element hebben hetzelfde aantal protonen en elektronen, maar een verschillend aantal neutronen. De massa van de isotopen is daarom verschillend. Verschillende isotopen van hetzelfde ele-

ment zijn dan ook niet door chemische reacties van elkaar te scheiden. Deze scheiding lukt alléén met methoden, die berusten op hun verschil in massa. Bijna alle elementen bestaan uit meer dan één soort atomen. Zo zijn er bijvoorbeeld 5 isotopen van zuurstof.

We kunnen de verschillende isotopen van één element van elkaar onderscheiden door bij de naam van het element het aantal deeltjes in de kern te vermelden. Zo onderscheiden we zuurstof-15, zuurstof-16, zuurstof-17, maar ook uranium-235 en uranium-238.

Van het element waterstof kennen we drie isotopen: waterstof-1, waterstof-2 (ook wel deuterium genoemd) en waterstof-3 (ook wel tritium genoemd). Waterstof zoals dat in de natuur voorkomt, bestaat voor 99,99 % uit waterstof-1 en voor 0,01 % uit waterstof-2. Waterstof-3 komt in de natuur heel weinig voor. Het is radioactief en zendt dus straling uit.

Blok 16

W1

- 1a Uit welke deeltjes bestaat een watermolekuul?
- b Welke deeltjes treffen we aan in een zuurstofatoom?
- c Wat zijn isotopen?
- d Wat is het verschil tussen zuurstof-16 en zuurstof-17?

2 Koolstofdioxide is een gas dat in de lucht voorkomt. Het wordt uitgeademd door mensen, dieren en planten. Een koolstofdioxidemolekuul bestaat uit 1 koolstofatoom en 2 zuurstofatomen.

Teken twee koolstofdioxidemolekulen: koolstofatomen zwart, zuurstofatomen rood.

- 3 Van het element lithium komen in de natuur drie isotopen voor. Alle atomen van deze isotopen bevatten 3 protonen en 3 elektronen. Het verschil zit in het aantal neutronen: 3, 4 of 5 neutronen.

a Teken één atoom van ieder van de isotopen. Kleur de protonen rood, de neutronen zwart en de elektronen blauw.

b Geef de juiste aanduidingen (namen) van de drie lithiumisotopen.

- 4 Als keukenzout (officiële naam: natriumchloride) in water wordt opgelost, valt het uiteen in losse ionen. Er

ontstaan natriumionen en chloorionen. Een natriumion bestaat uit een atoom dat één elektron te weinig heeft. Een chloorion bestaat uit een atoom dat één elektron te veel heeft.

Teken de atomen en ionen die je aantreft in water waarin zout is opgelost. Geef bij elk deeltje aan of het positief of negatief geladen is, of neutraal is.

5 Van het element helium kennen we drie isotopen: helium-3, helium-4 en helium-6. Ieder heliumatoom heeft twee elektronen.

a Hoeveel protonen zitten er in de kern van een

heliumatoom?

b Hoeveel neutronen zitten er in de kernen van de verschillende heliumisotopen?

6 Natuurlijk chloor bestaat voor 75 % uit atomen chloor-35 en voor 25 % uit atomen chloor-37. In een chloorkern zitten 17 protonen.

a Bereken het aantal protonen en neutronen dat (gemiddeld) aanwezig is in 100 atomen natuurlijk chloor. In het periodiek systeem der elementen wordt bij chloor een atoommassa van 35,5 gegeven.

b Geef hiervoor een verklaring.

Blok 16

T2

Straling

Soorten straling

De meeste atoomkernen zijn stabiel: ze blijven eeuwig en altijd hetzelfde. Radioactieve stoffen bestaan uit atoomkernen die niet stabiel zijn. Door het uitzenden van straling proberen de kernen stabiel te worden. Vaak schiet er dan een deeltje uit de kern. Daardoor verandert de samenstelling van de kern. Er ontstaat een atoom van een ander element. Het uitzenden van straling wordt ook wel *radioactief verval* genoemd: de instabiele kernen vervallen tot andere kernen.

Met de grootte *activiteit* geven we aan hoe radioactief een bepaalde stof is. Het symbool voor de activiteit is de hoofdletter *A*, de eenheid van activiteit is de becquerel (Bq).

Een activiteit van 1 Bq betekent dat er iedere seconde één kern verval.

Voorbeelden van radioactieve stoffen zijn de isotopen van radium, polonium en uranium.

De drie belangrijkste soorten straling zijn:

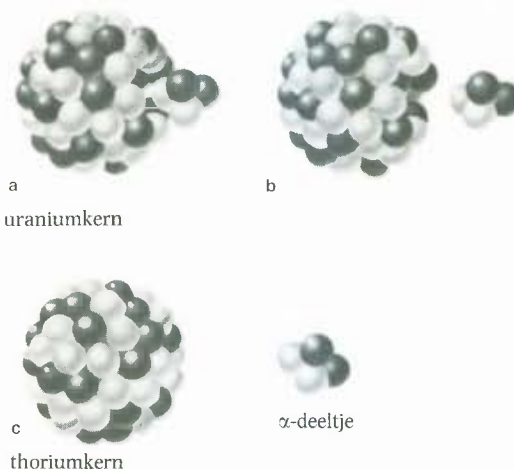
alfastraling, bètastraling en gammastraling.

Alfastraling (α -straling) (figuur 10)

Als een kern alfastraling uitzendt, vliegt er een stukje van de kern weg (alfadeeltje), dat bestaat uit twee protonen en twee neutronen. De kern die overblijft heeft dus twee protonen en twee neutronen minder dan de oorspronkelijke kern.

fig. 10

Alfaverval: Uit de kern van een uraniumatoom (92 protonen en 146 neutronen) verdwijnt een α -deeltje, bestaande uit twee protonen en twee neutronen. Het nieuwe atoom is een atoom van het element thorium (90 protonen en 144 neutronen).



Bètastraling (β -straling) (figuur 11)

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. De wegschietende elektronen noemen we bètastraling. De kern die overblijft heeft dus een proton meer en een neutron minder dan het oorspronkelijke atoom.

Gammastraling (γ -straling) (figuur 12)

De kern bestaat uit een wolk van bewegende neutronen en protonen. Soms verandert er iets in de kern, waardoor de deeltjes dichter bij elkaar komen te zitten. De vrijkomende energie wordt uitgezonden als gammastraling. Gammastraling bestaat dan ook niet uit deeltjes, maar is *elektromagnetische straling*, net als licht. Er verdwijnt geen deeltje uit de kern. De kern verandert dus niet.

Naast deze drie soorten straling zijn er nog andere soorten straling zoals neutronen-, protonen- en röntgenstraling. Neutronen- en protonenstraling wordt kunstmatig gemaakt in kernreactoren en deeltjesversnellers. Röntgenstraling wordt opgewekt in een röntgenbuis door elektronen met grote snelheid tegen een metalen plaatje te schieten.

Achtergrondstraling

α -, β - en γ -straling kun je niet zien. De straling is ontdekt doordat er op fotografisch papier zwarte strepen ontstonden. De straling kun je meten met een Geiger-Müllertelbuis (GM-telbuis). Deze telbuis meet de hoeveelheid straling die in de detector terechtkomt. Als we met een GM-telbuis de straling meten in de klas dan zal deze altijd een uitslag geven, ook als er geen radioactieve stof in de buurt is. De GM-telbuis meet dan de zogenaamde *achtergrondstraling*. Deze straling ontstaat doordat in verschillende materialen in onze omgeving (zoals beton) radioactieve stoffen zitten. Ook sommige apparaten (zoals de kleurentelevisie) zenden straling uit. Daarnaast komt er straling vanuit de ruimte: de *kosmische straling*.



fig. 11

Bètaverval: uit de kern van een lithiumatoom verdwijnt een elektron. In de kern verandert een neutron in een proton. Het nieuwe atoom is een atoom van het element beryllium.

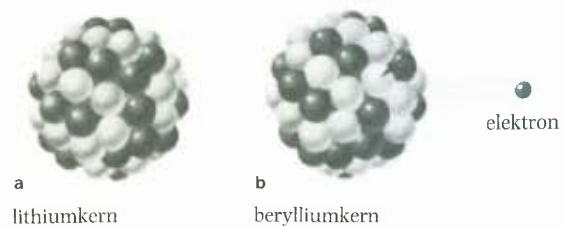
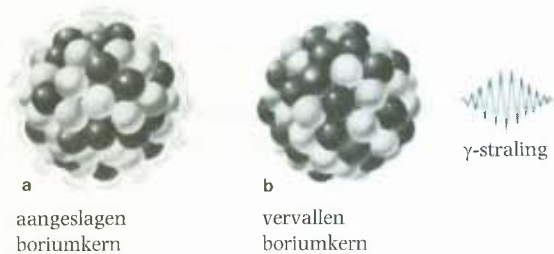


fig. 12

Gammaverval: Uit de kern van een boriumatoom ontsnapt energie. De kern verandert niet van samenstelling.



De namen α -, β - en γ -straling dateren uit de periode rond 1896, toen men nog niet wist dat α - en β -straling helemaal geen elektromagnetische straling zijn, maar bundels deeltjes. De alfadeeltjes (twee protonen en twee neutronen) kun je beschouwen als heliumkernen of heliumionen met een tekort van twee elektronen. De bètadeeltjes zijn losse elektronen. Voor het gemak spreekt men echter nog steeds over 'alfastraling' en 'bètastraling'. Hoewel gammastraling niet uit deeltjes bestaat, wordt soms bij gammastraling wél over deeltjes gesproken. Want gammastraling kan worden opgevat als een bundel energiedeeltjes, die fotonen worden genoemd.

Ioniserende werking

De α - en β -deeltjes die vrijkomen bij radioactief verval bezitten veel energie in de vorm van bewegingsenergie. Daarin schuilt het gevaar van α - en β -straling. Door botsingen met atomen kunnen de stralingsdeeltjes beschadigingen veroorzaken aan bijvoorbeeld het DNA-molekuul. Daardoor kunnen cellen ontstaan die zich ongebreideld gaan delen (kankercellen).

Daarnaast heeft straling de eigenschap dat zij atomen kan ioniseren. Als de straling botst tegen een elektron dat rond de kern van een atoom draait, kan dit elektron weggeschoten worden. Het atoom dat overblijft wordt zo een positief geladen ion. Daarom wordt deze straling *ioniserende straling* genoemd.

Dracht

Door botsingen met atomen raakt de straling zijn energie kwijt. γ -straling wordt hierbij geabsorbeerd, net zoals licht dat op een donker voorwerp valt. Als alle bewegingsenergie van de α -deeltjes en de β -deeltjes is overgedragen op andere atomen, zijn de stralingsdeeltjes ongevaarlijk geworden. Tenslotte zijn de α - en β -deeltjes niet zelf radioactief, hun gevaar zit alleen in hun (hoge) energie. Een α -deeltje dat zijn bewegingsenergie kwijt is, wordt al heel snel een stabiel helium-atoom.

De afstand die een stralingsdeeltje aflegt in een stof noemen we de *dracht*. De dracht van een stralingsdeeltje hangt af van:

- De soort straling; de kans dat een α -deeltje tegen een atoom botst is groter dan bij een β - of γ -deeltje (het

α -deeltje is groter). Als de ioniserende werking van de straling groter is, is de dracht kleiner (grote ioniserende werking betekent veel energieoverdracht, dus het deeltje is gauw zijn energie kwijt).

- De energie van het stralingsdeeltje; hoe meer energie hoe groter de dracht.

- De dichtheid van de stof die bestraald wordt; hoe groter de dichtheid, hoe kleiner de dracht. De dracht in lucht is groter dan in water en de dracht in water is weer groter dan in aluminium.

In plaats van dracht wordt ook wel het begrip *door-dringend vermogen* gebruikt.

In de tabel staan de eigenschappen van de verschillende soorten straling op een rijtje (figuur 13).

fig. 13
De eigenschappen van straling. $c = 3,0 \cdot 10^8$ m/s (lichtsnelheid).

soort straling	massa	lading	snelheid	ioniserend vermogen	dracht
α -straling	groot	positief	tot $0,1 c$	groot	klein
β -straling	klein	negatief	tot $0,9 c$	klein	groot
γ -straling	nul	nul	c	heel klein	heel groot

fig. 14
Periodiek systeem. Aantal protonen in enkele atoomkernen.

atoomsoort	symbool	aantal protonen	atoomsoort	symbool	aantal protonen
waterstof	H	1	natrium	Na	11
helium	He	2	chloor	Cl	17
lithium	Li	3	ijzer	Fe	26
beryllium	Be	4	kobalt	Co	27
boor	B	5	nikkel	Ni	28
koolstof	C	6	koper	Cu	29
stikstof	N	7	arseen	As	33
zuurstof	O	8	seleen	Se	34
fluor	F	9	broom	Br	35
neon	Ne	10	krypton	Kr	36

(Zie vervolg)

fig. 14 (vervolg)

atoomsoort	symbool	aantal protonen	atoomsoort	symbool	aantal protonen
rubidium	Rb	37	lood	Pb	82
strontium	Sr	38	radon	Rn	86
yttrium	Y	39	francium	Fr	87
zirkoon	Zr	40	radium	Ra	88
technetium	Tc	43	actinium	Ac	89
cadmium	Cd	48	thorium	Th	90
telluur	Te	52	protactinium	Pa	91
jood	I	53	uraan	U	92
xenon	Xe	54	neptunium	Np	93
cesium	Cs	55	plutonium	Pu	94
barium	Ba	56			

Blok 16

W2

1 Leg uit wat het verschil is tussen radioactief verval waarbij α - of β -straling vrijkomt en verval waarbij γ -straling vrijkomt.

2a Leg uit wat er bedoeld wordt met achtergrondstraling.

b Waar komt deze straling vandaan?

3 Leg uit wat er gebeurt als een atoom door straling wordt geïoniseerd.

4 De ioniserende werking van α -straling is groter dan van β -straling (in dezelfde stof). Geef hiervoor een verklaring.

5a Leg uit wat we verstaan onder de dracht van straling.

b Van welke drie factoren hangt de dracht van de straling in een stof af?

Als de straling een grotere ioniserende werking heeft, is de dracht kleiner.

c Geef hiervoor een verklaring.

6 In de kern van een uraan-235-atoom zitten 92 protonen. Uraan-235 is radioactief en vervalt door het uitzenden van een α -deeltje.

a Bereken het aantal neutronen in de kern van uraan-235.

b Beschrijf wat er gebeurt als uraan-235 vervalt.

c Bereken het aantal protonen en neutronen in de

kern die ontstaat na het verval.

d Bepaal met behulp van het periodiek systeem der elementen de naam van het isotoop dat ontstaat.

7 Het door Marie en Pierre Curie ontdekte radium-224 (88 protonen) vervalt door het uitzenden van een α -deeltje.

Welke kern ontstaat na het verval?

8 In een strontium-90-kern zitten 38 protonen. Strontium-90 is radioactief en vervalt door het uitzenden van een β -deeltje.

a Beschrijf wat er gebeurt als strontium-90 vervalt.

b Bereken het aantal protonen en neutronen in de kern die ontstaat na het verval.

c Bepaal met behulp van het periodiek systeem de naam van het isotoop dat ontstaat.

9 Cesium-137 is radioactief en zendt γ -straling uit.

a Beschrijf wat er gebeurt als cesium-137 vervalt.

b Welk isotoop ontstaat er na het verval?

10 Met een Geiger-Müllerbuis meten we drie keer achtereenvolgens de hoeveelheid straling van jood-131. In 10 seconden meten we achtereenvolgens 953, 936 en 965 pulsen. Ook de achtergrondstraling meten we drie keer. We vinden in 10 seconden 32, 25 en 27 pulsen. Bepaal de gemiddelde activiteit van jood-131 als je aan mag nemen dat alle straling op de detector van de GM-buis valt.

Inwerking van straling

Als α -, β - of γ -straling een voorwerp treft, kan de straling door dat voorwerp geabsorbeerd worden. Soms gaat een deel van de straling door het voorwerp heen. Hoeveel straling er geabsorbeerd wordt en hoeveel er wordt doorgelaten, hangt af van het soort voorwerp en de soort straling.

De geabsorbeerde straling veroorzaakt veranderingen in de atomen van het 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. Als straling het menselijk lichaam treft, gebeurt hetzelfde. De veranderingen die de straling in menselijk weefsel veroorzaakt zijn schadelijk voor het weefsel (figuur 15).

Bij het ontploffen van atoombombommen, die tot de kernwapens behoren, komen grote hoeveelheden ioniseren-

de straling vrij. Daarnaast worden grote hoeveelheden radioactief materiaal de lucht in geslingerd. Deze radioactieve stof kan zich over duizenden kilometers afstand verspreiden en komt tenslotte, vaak met de regen, weer op de aarde terecht (*fall-out*). Door het inademen of eten van dit radioactief stof worden mensen, dieren en planten radioactief besmet. Ze hebben dan een radioactieve bron in zich die voortdurend straling uitzendt, met alle gevolgen van dien.

Bij de ramp met de kerncentrale in Tsjernobyl werd radioactief materiaal over een afstand van meer dan 2000 km verspreid. Planten en dieren werden besmet, waardoor gedurende een bepaalde tijd bijvoorbeeld geen spinazie uit Nederland gegeten mocht worden en lamsvlees uit Ierland vernietigd moest worden.

fig. 15

Tabel met de effecten van ioniserende straling voor het menselijk lichaam. De eenheid mSv (millisievert) is een maat voor de biologische schade, veroorzaakt door de ontvangen straling.

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 stralingsziekten binnen enkele uren na bestraling: vermoeidheid, braken, diarree, koorts; b verminderde weerstand tegen infecties; c bij kinderen: beschadiging van de groeizones in het skelet waardoor normale groei wordt geremd; d langdurige steriliteit bij de man (een jaar)

Mensen die beroepshalve met radioactieve stoffen werken, mogen per jaar niet meer dan 50 mSv straling ontvangen. De stralingsdosis wordt gemeten met een stukje fotografisch materiaal dat wordt opgespeld als een button. De zwarting van het materiaal is een maat voor de ontvangen stralingsdosis.

dosis in mSv	periode	directe gevolgen
vanaf 2000	ineens	ernstige stralingsziekte als gevolg van beschadiging van beenmerg en lymfeklieren (beenmergsyndroom); in minder dan de helft van de gevallen volgt sterfte binnen een maand als gevolg van inwendige bloedingen
vanaf 3000	ineens	ernstige stralingsziekte; sterfte in meer dan 50% van de gevallen; blijvende steriliteit bij vrouwen
vanaf 4000	ineens	in nagenoeg alle gevallen sterfte binnen een maand
vanaf 10000	ineens	sterfte binnen een week door beschadiging van de dunne darm (darmsyndroom)
vanaf 50000	ineens	sterfte binnen enkele uren tot dagen door beschadiging van het centrale zenuwstelsel (beven, toevallen)

Halveringstijd

Een radioactieve stof zendt op den duur steeds minder straling uit. Zo zendt een oplossing met het radioactieve isotoop jood-131 na iets meer dan een week nog maar de helft van de oorspronkelijke hoeveelheid straling uit. Bij stoffen als uraan en plutonium duurt het veel langer voordat de intensiteit van de straling met de helft is afgenomen; wel honderdduizenden jaren. Hoe het komt dat de intensiteit van de straling afneemt, is als volgt in te zien.

Radioactief verval is een kansproces, net als het gooien met een dobbelsteen. Wannéér een bepaalde jood-131-kern vervalt kunnen we niet zeggen, maar na een bepaalde tijd is de helft van het oorspronkelijk aantal kernen vervallen. Deze tijd noemen we de halfwaardetijd of halveringstijd. Voor jood-131 is de halveringstijd 8 dagen.

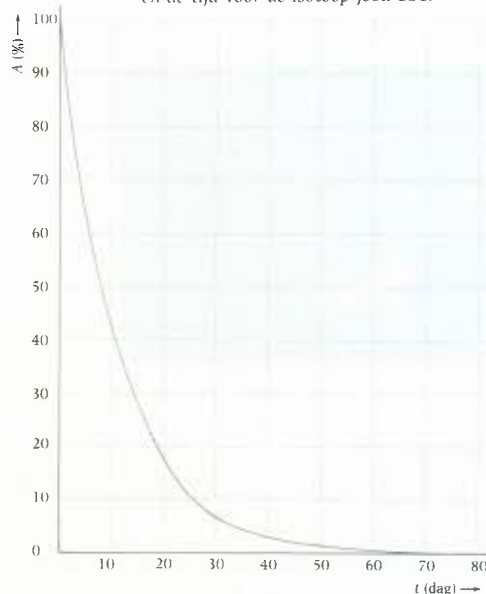
Door het uitzenden van β -straling zijn de jood-131-kernen veranderd in andere kernen. Na 8 dagen is nog maar de helft van het oorspronkelijk aantal joodkernen over. Als we weer 8 dagen wachten dan vervalt opnieuw de helft van het aantal overgebleven kernen. Na 16 dagen is dus nog maar een kwart (de helft van de helft) van het oorspronkelijk aantal jood-131-kernen over; na 24 dagen een achtste enzovoorts. Met de afname van het aantal jood-131-kernen (het aantal kernen dat kan vervallen) neemt ook de hoeveelheid straling af (figuur 16).

Een radioactieve isotoop met een kleine halveringstijd

zendt per seconde veel straling uit, omdat in korte tijd veel kernen vervallen. Een isotoop met een lange halveringstijd zendt per seconde minder straling uit, maar wel gedurende een langere tijd.

fig. 16

Het verband tussen de hoeveelheid straling (in %) en de tijd voor de isotoop jood-131.



Als je met een dobbelsteen gooit is de kans dat je een zes gooit, een op zes. Wannéér je een zes gooit is niet zeker, maar na 360 worpen zijn daar ongeveer 60 zessen bij.

Medische toepassing van radioactieve stoffen

Ondanks de gevaren die dit met zich meebrengt, gebruikt men in de gezondheidszorg toch stoffen die straling uitzenden. Er wordt daarbij nuttig gebruik gemaakt van de volgende eigenschappen van de straling:

- a Je kunt precies nagaan waar de radioactieve stof zich in het lichaam bevindt, omdat er meetinstrumenten bestaan die ook de (zeer geringe) straling, afkomstig van de radioactieve stof, kunnen meten.
- b Straling van radioactieve stoffen kan lichaamscellen doden.
- c Radioactieve stoffen verliezen langzaam hun stralende werking.

Als voorbeeld noemen we het schildklieronderzoek met radioactief jood (fig. 17 en 18). Jood wordt door het

fig. 17

Schildklieronderzoek.

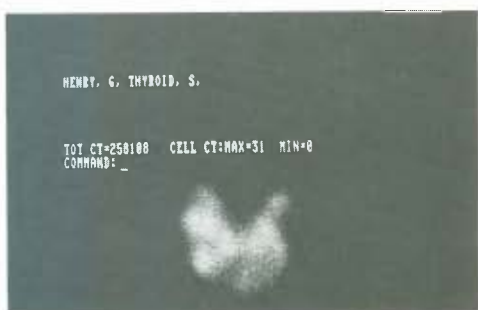


menselijk lichaam opgehoopt in de schildklier. Het lichaam maakt daarbij geen onderscheid tussen gewoon en radioactief jood. Het radioactieve jood komt

dus net als het gewone jood in de schildklier terecht. Met behulp van een gevoelige stralingsmeter en met foto's kunnen nu de omvang en de opbouw van de schildklier worden vastgesteld. Door gebruik te maken van kleine hoeveelheden radioactief jood, dat na korte tijd zijn radioactiviteit verliest, blijft de schade aan het weefsel beperkt.

Voor de behandeling van kanker worden sterk stralen-

fig. 18
Gamma-foto van een
schildklier.



de bronnen gebruikt, waarvan men de straling goed kan richten op het te bestralen weefsel. Hierdoor blijft de beschadiging van omliggend gezond weefsel beperkt (figuur 19).

fig. 19
Bestralingsapparaat voor
kankerpatiënten.



Elektrische energie uit kernenergie

In een kerncentrale wordt elektrische energie opgewekt door gebruik te maken van de energie die aanwezig is in atoomkernen (figuur 20). In de kernreactor worden atoomkernen van uraan-235 gespleten door deze te beschieten met neutronen (kernsplijting). Bij de kernsplijting wordt een klein deel van de atoommassa omgezet in warmte. Hiermee wordt stoom gemaakt, waarmee een grote dynamo aan het draaien wordt gebracht.

Voordelen van kerncentrales

- Er is maar weinig uraan nodig voor de produktie van veel elektrische energie;
- Er is geen milieuverontreiniging door verbrandingsgassen zoals CO_2 , SO_2 , NO_2 , enzovoort (zure regen).

Nadelen van kerncentrales

- Bij de kernsplijting ontstaan stoffen die sterk radioactief zijn (radioactief afval). Bij de verwerking en opslag van deze stoffen kunnen deze stoffen in het milieu terecht komen;
- Kernsplijting is een ingewikkeld proces. Er zijn ingewikkelde machines nodig om dit proces te beheersen. Als er iets misgaat kunnen er grote hoeveelheden

radioactieve stoffen vrijkomen;

- Voor de koeling van een kerncentrale zijn grote hoeveelheden water nodig. Dit koelwater kan radioactief besmet raken;
- Sommige stoffen die in de kerncentrale ontstaan, kunnen gebruikt worden voor het maken van kernwapens.

Er wordt al jaren onderzoek gedaan naar een nieuw type kerncentrale. In deze centrales moet elektrische energie worden opgewekt door waterstof-2 te laten samensmelten (kernfusie). Het voordeel van kernfusie is, dat er minder radioactief afval ontstaat. Verder is de voorraad waterstof-2 bijna onbeperkt.

Dat kernfusie mogelijk is blijkt iedere dag. De energie van de zon ontstaat door kernfusie in het binnenste van de zon. Er zijn ook al kernwapens ontwikkeld die gebruik maken van kernfusie: de waterstofbom.

Helaas is men met het onderzoek naar de vreedzame toepassing van kernfusie op dit moment nog niet zo ver. Het zal nog een hele tijd duren voor de eerste kernfusiecentrales in bedrijf zullen kunnen komen. Als je meer wilt weten over de toepassing van kernenergie, kun je de extrastof E1 doen.

fig. 20

Kerncentrale Dodewaard.



Stralingsbescherming

Straling is gevaarlijk. Vooral voor mensen die dagelijks met radioactieve bronnen moeten werken is bescherming van het grootste belang. Voortdurend wordt gemeten hoeveel straling er in een ruimte aanwezig is en hoeveel straling men heeft ontvangen. De bescherming die een stof biedt tegen straling heeft te maken met de dracht of het doordringend vermogen van de straling in die stof. Hoe kleiner de dracht des te beter is de bescherming. De beste bescherming tegen straling biedt lood. De meeste soorten straling worden door een loden plaat van enkele centimeters dikte geabsorbeerd. Röntgenlaboranten en tandartsen gebruiken dan ook ter bescherming een schort van lood bij het maken van röntgenfoto's (figuur 21).

Ook beton biedt een goede bescherming, maar dan moet het wel een paar meter dik zijn. Bij kerncentrales en deeltjesversnellers treffen we dan ook meters dikke betonnen wanden aan.

fig. 21

Röntgenlaborant in het ziekenhuis.



1 Met een stralingsmeter meet men de hoeveelheid straling die door een afvalstof van een kerncentrale wordt uitgezonden. In de afvalstof komt één radioactieve isotoop voor. De metingen zijn weergegeven in een tabel (figuur 22).

a Teken een diagram dat het verband aangeeft tussen de activiteit van de afvalstof en de tijd.

b Bepaal uit drie verschillende tijdsintervallen de halveringstijd van dit element.

c Bereken de halveringstijd van de isotoop door het gemiddelde te nemen van de in opdracht b bepaalde waarden.

fig. 22			
t (min)	activiteit (Bq)	t (min)	activiteit (Bq)
0,0	2010	7,0	591
1,0	1645	8,0	502
2,0	1412	9,0	415
3,0	1177	10,0	351
4,0	998	11,0	292
5,0	832	12,0	254
6,0	702		

2 Twee isotopen zenden op het tijdstip $t = 0$ beide 100 deeltjes per seconde uit. Isotoop A heeft een halveringstijd van 8 dagen. Isotoop B heeft een halveringstijd van 14 dagen.

a Bereken de activiteit van bron A na 24 dagen.

b Teken in een diagram de grafiek die weergeeft hoe de straling van isotoop A in 60 dagen afneemt.

c Teken in hetzelfde diagram de grafiek die weergeeft hoe de straling van isotoop B in 60 dagen afneemt.

3 De halveringstijd van koolstof-14 is 5570 jaar.

a Bepaal na hoeveel tijd de straling met 75% is afgenomen.

b Bepaal na hoeveel tijd nog maar 3% ($1/32$ deel) van de oorspronkelijke straling wordt uitgezonden.

c Na hoeveel tijd zullen alle kernen van deze isotoop vervallen zijn?

4 Leg uit wat het verschil is tussen radioactief bestraald worden en radioactief besmet raken.

5 Verklaar waarom een vaste stof een betere bescherming biedt tegen straling dan een vloeistof.

6 Een bepaalde isotoop zendt α -straling uit. Het is veel gevaarlijker als je iets van deze stof inslikt dan wanneer je een beetje van deze stof morst.

Geef hiervoor een verklaring.

7 Leg uit waarom de straling van een isotoop met een kleine halveringstijd meestal gevaarlijker is dan de straling van een isotoop met een grote halveringstijd.

8 In ziekenhuizen worden voor onderzoek isotopen gebruikt met een kleine halveringstijd.

a Leg uit waarom.

b Is je antwoord op vraag 8a niet in strijd met je antwoord op vraag 7? Geef een toelichting.

9 Leg uit waarom γ -straling in het algemeen gevaarlijker is dan α -straling.

In deze herhaalstof staan een aantal belangrijke eigenschappen en begrippen uit het blok. Aan de hand van de vragen kun je jouw kennis testen. Als je een antwoord niet weet, zoek het dan op in de theorietekst na de vragen.

- 1a Welke deeltjes tref je aan in een atoom?
- b Waar tref je deze deeltjes aan in het atoom?
- c Vergelijk de massa van de deeltjes met elkaar.
- d Vergelijk de lading van de deeltjes met elkaar.

2 Wanneer spreken we bij een atoom over een ion?

3 Leg uit wat we bedoelen met isotopen van één element?

- 4a Wanneer is een atoom radioactief?
- b Welke eigenschap bezit een radioactief atoom?

5a Welke soorten straling ken je?

b Vergelijk de verschillende soorten straling met elkaar. Maak een tabel en vermeld hierin de massa, de lading, de ioniserende werking en de dracht.

6a Wat bedoelen we met ioniserende werking van straling?

b Welk verband bestaat er tussen ioniserende werking en dracht van straling?

Theorie

Een atoomkern bestaat uit protonen en neutronen. Daaromheen cirkelen elektronen. De elektronen zijn 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 de atoomsoort koolstof; een kern met 94 protonen is altijd van de atoomsoort plutonium.

Het aantal elektronen dat rond de kern cirkelt, is meestal gelijk aan het aantal protonen in de kern. Koolstof heeft dus normaal 6 elektronen rond de kern. Het atoom is dan elektrisch neutraal. Als een atoom meer of minder elektronen bevat dan de protonen in de kern, noemen we zo'n atoom een ion.

Het aantal neutronen in de kern hoeft niet gelijk te zijn aan het aantal protonen. De meeste koolstofkernen hebben bijvoorbeeld 6 neutronen in de kern. Maar er zijn ook koolstofkernen met 8 neutronen. Scheikundig is er geen verschil in gedrag tussen deze twee soorten koolstofatomen.

Twee kernen die zich scheikundig gelijk gedragen maar alleen een verschillend aantal neutronen in de kern hebben, noemen we isotopen van hetzelfde element. Atoomkernen kunnen stabiel of instabiel zijn. Stabiele kernen blijven altijd hetzelfde. Instabiele kernen noemen we radioactief. Door straling uit te zenden probe-

ren deze kernen stabiel te worden. Meestal ontstaat daarbij een atoomkern van een ander element, die ook weer instabiel kan zijn.

Radioactieve atomen kunnen drie verschillende soorten straling uitzenden: alfastraling (α), bètastraling (β) en gammastraling (γ). Welke soort straling een kern zal uitzenden, hangt af van de samenstelling van de kern. Sommige atoomkernen zenden α -straling uit. Een α -deeltje bestaat uit twee protonen en twee neutronen. De kern van de isotoop plutonium-239 bestaat uit 94 protonen en 145 neutronen. Deze kernen zijn instabiel en zenden α -straling uit. De kern die overblijft bezit 92 protonen en 143 neutronen. Dit is een kern van het isotoop uranium-235.

Andere atomen zenden β -straling uit. Een β -deeltje 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.

Een zeldzame koolstofisotoop, koolstof-14, heeft 6 protonen en 8 neutronen in de kern. Deze kernen zenden β -straling uit. Na het uitzenden van de straling bevat de kern 7 protonen en 7 neutronen. De kern die zo ontstaat is de kern van stikstof-14.

De derde soort straling is γ -straling. Daarbij komt er geen deeltje uit de kern maar *alleen energie*. De kern van de isotoop technetium-99 bevat 43 protonen en 56

neutronen. Na het uitzenden van γ -straling bevat de kern nog steeds 43 protonen en 56 neutronen. Het blijft dan ook een kern van technetium-99. De kern is alleen een deel van zijn energie kwijtgeraakt. Het gevaar van straling zit in de energie van de straling. Door bestraling van atomen kunnen die atomen

elektronen kwijtraken. We noemen dit de ioniserende werking van straling. Door de botsingen met de atomen raakt de straling een deel van de energie kwijt. Hoe meer botsingen des te sneller is de energie op en dan kan de straling geen atomen meer ioniseren. De afstand die de straling aflegt in een stof noemen we de *dracht*.

Blok 16

H2

Halveringstijd

Een radioactieve bron bevat een aantal instabiele atomen van een bepaald element. Door het uitzenden van straling vervallen deze atomen tot atomen van een ander element of, bij gammastraling, tot atomen die geen straling meer uitzenden. Het aantal instabiele atomen neemt dus af.

Wanneer een bepaald atoom vervalt, is niet zeker, maar na enige tijd is nog maar de helft van het aantal instabiele atomen over. De tijd waarin de helft van het oorspronkelijk aantal aanwezige atomen vervalt, noemt men de *halveringstijd*.

De halveringstijd is voor een bepaalde radioactieve stof steeds hetzelfde. De halveringstijd is voor verschillende radioactieve stoffen anders en kan liggen tussen miljoenste delen van een seconde en miljoenen jaren!

Voorbeeld

Een radioactieve bron bevat 32 miljoen instabiele atomen. De bron zendt β -straling uit met een halveringstijd van 2 minuten. Dat betekent dat er in 2 minuten tijd 16 miljoen atomen vervallen door het uitzenden van β -straling. Na twee minuten zijn er dan nog 16 miljoen instabiele kernen over; de helft van het oorspronkelijke aantal. Weer twee minuten later, dus 4 minuten na het begin, zijn er nog maar 8 miljoen atomen over; een kwart van het oorspronkelijke aantal. Na 6 minuten zijn er 4 miljoen atomen over (1/8 deel); na 8 minuten 2 miljoen atomen (1/16 deel); enzovoort.

De hoeveelheid uitgezonden straling per seconde kunnen we meten met een Geiger-Müllertelbuis. De gemeten straling geeft aan hoeveel atomen er op een bepaald moment vervallen. Dit aantal hangt af van het aantal instabiele atomen dat aanwezig is en van de halveringstijd. Hoe meer instabiele atomen er aanwezig zijn, des te meer straling zal de bron per seconde uitzenden.

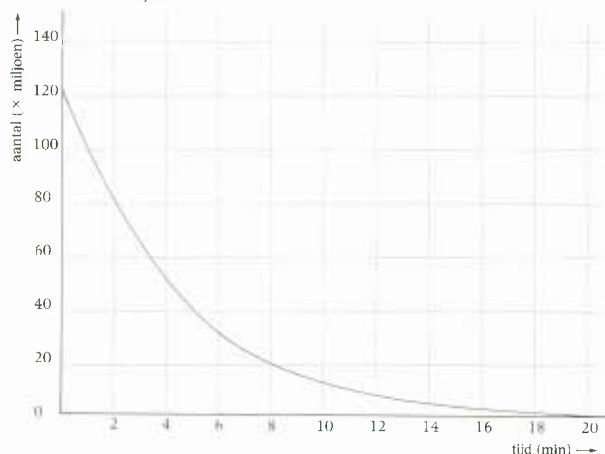
Bij een kleine halveringstijd is de hoeveelheid per seconde uitgezonden straling groot. We kunnen een diagram maken dat het verband aangeeft tussen het aantal aanwezige instabiele atomen en de tijd (figuur 23).

Met behulp van dit diagram kun je de halveringstijd als volgt bepalen. Kies een willekeurig tijdstip (dit mag ook het begin zijn) en bepaal het aantal instabiele atomen. Dit is aan het begin 120 miljoen.

Neem hiervan de helft (60 miljoen) en bepaal het tijdstip waarop dit aantal aanwezig is (3 minuten). De halveringstijd is de tijd die verstreken is tussen beide tijdstippen.

De grafiek die het verband aangeeft tussen de hoeveelheid per seconde uitgezonden straling en de tijd heeft hetzelfde verloop. Immers: als het aantal radioactieve deeltjes met de helft is afgenomen, zal ook de per seconde uitgezonden hoeveelheid straling met de helft zijn afgenomen. De halveringstijd is de tijd waarin de straling met de helft is afgenomen.

fig. 23
Het verband tussen het
aantal instabiele atomen en
de tijd.



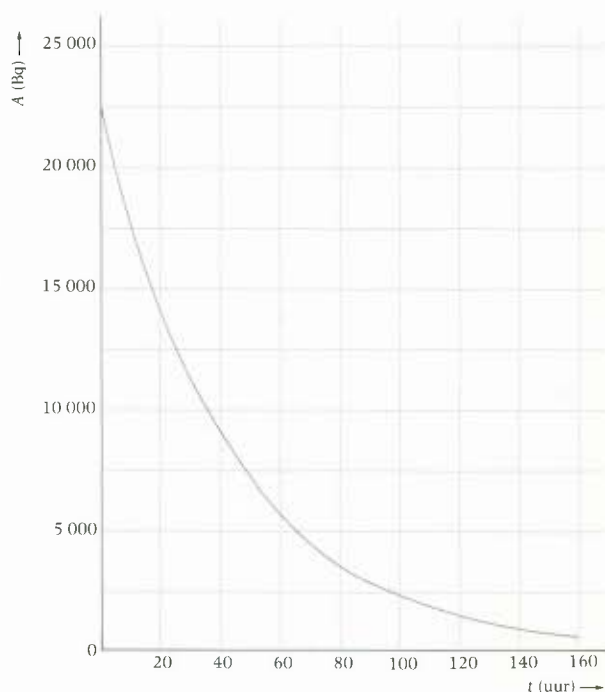
1 Een radioactieve bron bevat de isotoop broom-82. De bron zendt β -straling uit. De hoeveelheid straling die de bron per seconde uitzendt, wordt gemeten met een Geiger-Müllertelbuis. Na 72 uur is de hoeveelheid straling afgenomen tot een kwart van de oorspronkelijke hoeveelheid.

a Bepaal de halveringstijd van broom-82.

b Bepaal de tijd, waarna de hoeveelheid straling tot 1/16 deel van de oorspronkelijke hoeveelheid is afgenomen.

c Bereken de hoeveelheid straling die na 360 uur wordt uitgezonden in % van de oorspronkelijke hoeveelheid straling.

fig. 24
Het verband tussen de
hoeveelheid straling en de
tijd.



2 Van een radioactieve bron wordt de hoeveelheid uitgezonden straling gemeten met een GM-telbuis. De meetresultaten zijn weergegeven in een diagram (figuur 24).

a Bepaal met behulp van de grafiek de halveringstijd.

b Bepaal welk deel van het oorspronkelijk aantal instabiele atomen na 55 uur nog over is.

c Bepaal het tijdstip waarop nog een derde deel van het oorspronkelijke aantal instabiele kernen over is.

3 Een radioactieve bron bevat de isotoop kobalt-87. De bron zendt β -straling uit. Bij aanschaf wordt met een Geiger-Müllertelbuis de straling gemeten. De GM-telbuis telt 500 deeltjes per seconde. Daarna wordt ieder jaar de bronsterkte gemeten met de volgende resultaten: 440, 390, 350, 310, 270, 240 en 210 deeltjes per seconde. Bij de metingen is rekening gehouden met de achtergrondstraling.

a Teken het diagram dat het verband aangeeft tussen de hoeveelheid straling en de tijd.

b Bepaal met behulp van de grafiek de halveringstijd.

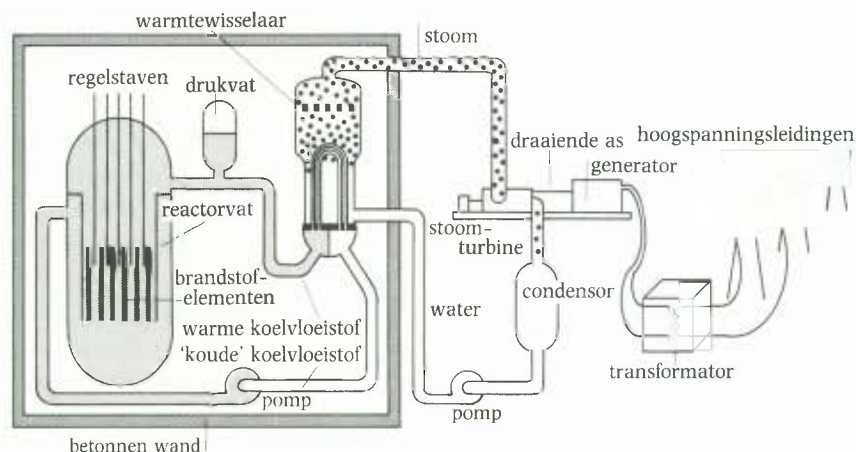


E1 Elektriciteit uit kernenergie

In een kerncentrale wordt elektrische energie opgewekt door gebruik te maken van de energie die aanwezig is in atoomkernen. De kerncentrale bestaat uit een kernreactor, een stoomturbine en een grote dynamo. De kernreactor levert de warmte voor de productie van de

stoom. Bij een gewone elektriciteitscentrale ontstaat deze warmte door de verbranding van olie, aardgas of steenkool. De stoom brengt de stoomturbine aan het draaien en daardoor de dynamo, die aan de turbine is gekoppeld (figuur 25).

fig. 25
De kerncentrale.



Het bijzondere van een kerncentrale is dus de kernreactor. De 'brandstof' in een kernreactor is uraan. Het uraanaatoom bezit de bijzondere eigenschap dat het in tweeën breekt als het wordt getroffen door een neutron. Bij deze kernsplijting ontstaan twee middelzware brokstukken en twee of drie neutronen. Daarnaast komt er energie vrij in de vorm van warmte. De vrijkomende neutronen kunnen nieuwe kernsplijtingen veroorzaken, waardoor een kettingreactie ontstaat (figuur 26).

Als we de kettingreactie zijn gang laten gaan, komt er in zeer korte tijd enorm veel energie vrij. De kettingreactie ontwikkelt zich explosief, met alle gevolgen van dien. Bij een kernwapen is dit de bedoeling, maar in een kernreactor moeten we de kettingreactie in de hand zien te houden. Daarvoor dienen de regelstaven (figuur 27).

De regelstaven bestaan uit cadmium. Het cadmium bezit de eigenschap dat het neutronen absorbeert. Door de regelstaven tussen de splijfstofstaven te schuiven, kan de kettingreactie geregeld worden. Als bij iedere splijting één neutron een nieuwe splijting veroorzaakt, levert de kernreactor een constant vermogen. Neemt het aantal splijtingen toe dan stijgt het vermogen. Neemt het aantal splijtingen af dan dooft de kettingreactie uit en neemt het vermogen af. Door de regelstaven in of uit te schuiven kan het vermogen geregeld worden.

fig. 26
Een kettingreactie die ontstaat doordat één neutron een uraanaatoom splijt.

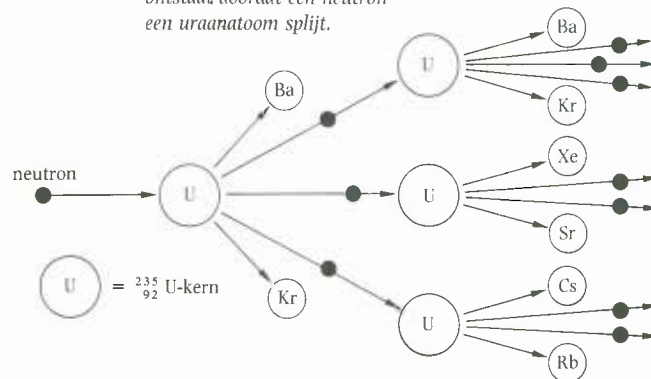
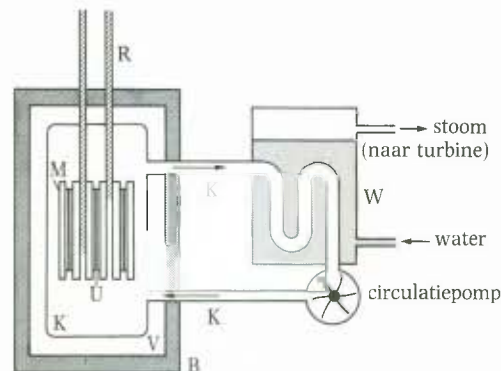


fig. 27
De bouw van een kernreactor.



Door de vrijkomende energie wordt de inhoud van de reactor enorm verhit. De reactor moet daarom gekoeld worden. Hiervoor gebruikt men meestal gewoon water. Het koelwater wordt gebruikt voor de produktie van stoom. Omdat koeling van de reactor van het grootste belang is, worden twee of drie gescheiden koelsystemen toegepast. Als één koelsysteem uitvalt, kan er overgeschakeld worden op een ander systeem.

Helaas bezitten niet alle uraanatomen de eigenschap dat ze door neutronen gespleten kunnen worden. Natuurlijk uraan bestaat voor 99,3% uit uraan-238 en voor 0,7% uit uraan-235. Alleen de isotoop uraan-235 is splijtbaar. In natuurlijk uraan zit te weinig uraan-235 om een kettingreactie op gang te kunnen brengen. Het uraan moet eerst *verrijkt* worden voordat het als splijfstof in een kernreactor gebruikt kan worden. Dit gebeurt in verrijkingsfabrieken waar het percentage uraan-235 wordt opgevoerd tot 3%. Het verrijkt uraan wordt in tabletvorm verpakt in lange splijfstofstaven. Een aantal staven samen vormen een splijstofelement (figuur 28).

In uraan dat tot 3% verrijkt is, kan de kettingreactie zich niet explosief ontwikkelen. In kernwapens wordt dan ook uraan gebruikt dat tot 99% is verrijkt. Het gevaar bij een kernreactor zit hem hoofdzakelijk in het koelsysteem. Als de koeling uitvalt, kan er zoveel energie vrijkomen dat de inhoud van de reactor smelt. Daarbij kunnen grote hoeveelheden radioactieve stoffen en straling vrijkomen. De radioactieve stoffen kunnen zich in de hogere luchtlagen over duizenden kilometers afstand verspreiden. Iets dergelijks is gebeurd bij het ongeval met de kernreactor in Tsjernobyl.

fig. 28
Een splijstofelement.



1 Waarom staat 'brandstof' in de tekst tussen aanhalingstekens?

2 Wat is het verschil tussen een kerncentrale en een gewone elektriciteitscentrale?

3 Dankzij welke *twee* eigenschappen kunnen we uraan-235 gebruiken voor de produktie van elektriciteit?

4 Als uraan-235 wordt getroffen door een neutron, kan het bijvoorbeeld splijten in strontium-94 en xenon-139.

Een uraanatoom bezit 92 protonen; een strontiumatoom 38 protonen en een xenonatoom bezit 54 protonen.

Bereken het aantal neutronen dat per kernsplijting vrijkomt.

5 In de kerncentrale van Borssele wordt 30% van de in de kernreactor vrijgekomen energie omgezet in elektrische energie. De centrale levert een elektrisch vermogen van 443 MW.

a Bereken de energie die per seconde in de kernreactor vrijkomt.

b Waarom worden kerncentrales (net als andere elektriciteitscentrales) meestal gebouwd in de buurt van rivieren of aan zee?

6a Leg uit waarom de straling die bij een ongeluk met een kerncentrale vrijkomt gevaarlijk is.

b Waarom zijn de radioactieve stoffen die vrijkomen veel gevaarlijker dan de directe straling?

In deze extrastof ga je onderzoeken of je radioactief verval kunt vergelijken met het ontladen van een condensator.

Als we bij een radioactieve bron gedurende langere tijd de uitgezonden straling meten, dan blijkt deze op een bepaalde manier af te nemen (figuur 29).

Bij radioactief verval hangt het aantal per seconde vervallende kernen af van het aantal kernen dat aanwezig is en van de halveringstijd van het materiaal. De hoeveelheid per seconde uitgezonden straling is dus een maat voor de aanwezige hoeveelheid radioactief materiaal.

Bij het ontladen van een condensator over een weerstand hangt de hoeveelheid per seconde wegstromende lading af van de hoeveelheid lading op de condensator en de grootte van de weerstand. De spanning tussen de platen van de condensator is een maat voor de hoeveelheid lading op de platen. Je gaat nu het verloop van de spanning tijdens het ontladen meten. Daarna vergelijken we dit verloop met de afname van de straling bij een radioactieve bron.

Benodigd materiaal

- een (regelbare) spanningsbron;
- een weerstand R van $2,0 \text{ k}\Omega$ ($= 2000 \Omega$);
- een condensator C van $1,0 \text{ mF}$ (1 millifarad);
- een spanningsmeter;
- een (druk)schakelaar S ;
- een stopwatch.

a Bouw de schakeling die getekend is in figuur 30. Zorg ervoor dat je de condensator goed aansluit (+ en – kant).

Als je de schakelaar S sluit, laadt de spanningsbron de condensator op. Zet je de schakelaar open dan zal de condensator zich over de weerstand ontladen.

b Sluit de schakelaar en stel de spanning in op 10 V .

c Open de schakelaar en meet na *iedere* 10 seconden de spanning over de condensator. Ga door tot de spanning

fig. 29

De afname van de straling van een radioactieve bron.

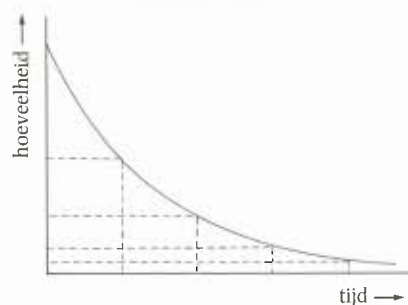
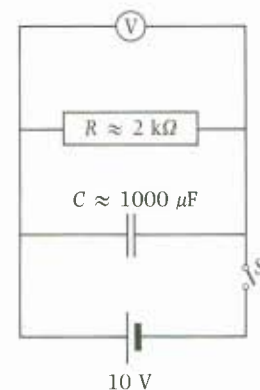


fig. 30

Schema van de schakeling.



niet meer verandert. Noteer je metingen in een tabel.

d Teken het diagram dat het verband aangeeft tussen de spanning en de tijd.

e Bepaal met behulp van de grafiek de tijd waarin de spanning is afgenomen tot 5, 2,5 en 1,25 V.

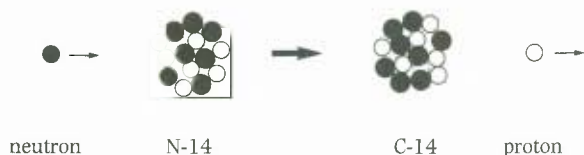
f Kun je bij het ontladen van een condensator spreken over de 'halveringstijd'? Licht je antwoord toe.

g Als je de lading op de condensator wilt vergelijken met het aantal radioactieve kernen, waarmee moet je dan de stroom door de weerstand vergelijken?

h Door de keuze van de weerstand R kun je de 'halveringstijd' van het ontladen veranderen. Moet je voor een langere 'halveringstijd' een grotere of kleinere weerstand nemen? Licht je antwoord toe.

1 Een manier om de ouderdom van voorwerpen vast te stellen is de *koolstof-14-methode*. Koolstof-14 ontstaat in de atmosfeer als een neutron de kern van een stikstof-14-atoom binnendringt (figuur 31).

fig. 31
Het ontstaan van koolstof-14 uit stikstof-14.



De neutronen in de atmosfeer zijn als gevolg van de kosmische straling ontstaan. De kern van een stikstof-14-atoom bezit 7 protonen; de kern van een koolstof-14-atoom bezit 6 protonen.

a Bereken het aantal neutronen in de kernen van stikstof-14 en koolstof-14.

b Ga na welk deeltje er vrijkomt bij de vorming van koolstof-14. Doe dit door de aantallen neutronen en protonen voor en na de vorming met elkaar te vergelijken.

De koolstof-14-isotoop is radioactief. Koolstof-14 vervalt onder uitzending van β -straling. De halveringstijd is 5730 jaar.

c Bereken het aantal protonen en neutronen in de kern die ontstaat bij het verval van koolstof-14.

d Welke atoom ontstaat er bij het radioactief verval van koolstof-14?

De hoeveelheid koolstof-14 in de atmosfeer is erg klein. Een op de 750 miljard koolstofatomen is een koolstof-14-atoom. Men veronderstelt dat de hoeveelheid koolstof-14 in de atmosfeer in de loop van de tijd redelijk constant is gebleven.

e Wat weet je daardoor van het aantal koolstof-14-atomen dat per tijdseenheid gevormd wordt en het aantal dat vervalt?

Levende planten nemen bij de zuurstofassimilatie koolstofdioxide op uit de lucht. In koolstofdioxide zitten ook atomen van de isotoop koolstof-14. Bij de dood van een plant stopt de opname van koolstofdioxide en dus van koolstof-14.

f Leg uit dat de hoeveelheid koolstof-14 in planteresten na verloop van tijd afneemt.

g Met welk meetinstrument kan men deze afname meten? Licht je antwoord toe.

Uit metingen aan verkoold hout afkomstig van een kampvuur van een prehistorische mensenstam bleek de hoeveelheid koolstof-14 te zijn afgenomen tot één op de 1500 miljard.

h Hoeveel jaar geleden werd dit hout verbrand?

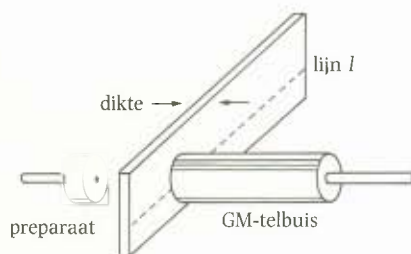
2 Bij de productie van loodplaten gebruikt men een radioactieve bron voor de controle van de dikte. De radioactieve bron bevat de isotoop kobalt-60. Een kobalt-60-kern bezit 27 protonen. De kern vervalt onder uitzending van β -straling. De halveringstijd is 5,3 jaar.

a Bereken het aantal neutronen in een kobalt-60-kern.

b Bereken het aantal protonen en neutronen in de kern die ontstaat bij verval van kobalt-60.

c Ga met behulp van het periodiek systeem (in T2) na welke atoomsoort er bij dit verval wordt gevormd. Bij de controle van de dikte meet men de hoeveelheid straling die door een loodplaat wordt doorgelaten (figuur 32). Door deze hoeveelheid te vergelijken met de waarden in een ijkdiagram kan men de dikte van de plaat bepalen.

fig. 32
Bepaling van de dikte van een loodplaat door meting van de doorgelaten straling.



Het ijkdiagram wordt verkregen door loodplaatjes van bekende dikte tussen de bron en de teller te plaatsen. Op deze manier ontstaat een grafiek die het verband aangeeft tussen de hoeveelheid doorgelaten straling (in procenten van de opvallende straling) en de dikte van de loodplaat (figuur 33).

d Bepaal met behulp van de ijkgrafiek bij welke dikte nog maar 30% van de straling wordt doorgelaten.

e Bepaal de intensiteit van de doorgelaten straling als de loodplaat half zo dik is als bij d.

Bij de controle van de dikte van de loodplaten meet men de straling over de breedte van de plaat. Platen waarbij de dikte meer dan 10% afwijkt worden afgekeurd. In figuur 34 is zo'n meting weergegeven in

- een diagram. Bij A vertoont de grafiek een afwijking.
 f Bepaal met behulp van het ijkdiagram de dikte van de loodplaat.
 g Leg uit of de plaat bij A dikker of dunner is.
 h Ga na of de betreffende plaat afgekeurd moet worden.
 i Leg uit waarom men voor een goede kwaliteitscontrole regelmatig een nieuwe ijkgrafiek moet maken.

fig. 33
 Het verband tussen de intensiteit van de door-
 gelaten straling en de dikte
 van de loodplaat.

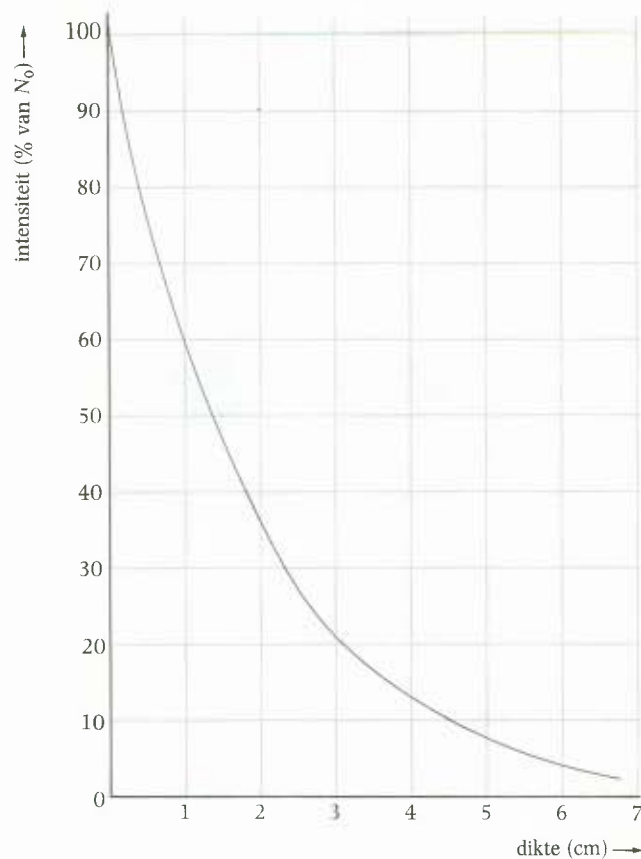


fig. 34
 De intensiteit van de door-
 gelaten straling van een
 bepaalde loodplaat.

