



Blok 1

INHOUD

BASISSTOF

T1	Bouw van de materie	8
W1		11
T2	Isotopen	12
W2		13
T3	Alfa-, bèta- en gammastraling	13
W3		15
T4	Eigenschappen van straling	16
W4		17
T5	Werken met straling	18
W5		20
T6	Toepassingen van straling	21
W6		24

HERHAALSTOF

H1	Radioactiviteit	25
H2	Halveringstijd	26
H3	Oefenen met examenopgaven	28

LEERDOELEN

- 1 Je moet weten dat een atoom is opgebouwd uit een kern met protonen en neutronen en dat om de kern de elektronen draaien. [T1, W1]
- 2 Je moet weten dat elektronen en atoomkernen elkaar aantrekken 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. [T2, W2]
- 4 Je moet weten dat α -, β - en γ -straling afkomstig zijn uit de kernen van radioactieve atomen. [P3, T3, W3]
- 5 Je moet weten dat stabiele isotopen geen α -, β - en γ -straling uitzenden en dat instabiele (radioactieve) isotopen dit wel doen. [P3, T3, W3]



- 6** Je moet weten dat de atoomkernen veranderen door het uitzenden van straling. [P3, T3, W3]
- 7** Je moet weten wat α -, β -, γ - en röntgenstraling zijn en weten wat de eigenschappen zijn van de verschillende soorten straling. [P3, T3, W3, P4, T4, W4]
- 8** Je moet weten dat A het symbool is voor activiteit en dat de hoeveelheid activiteit wordt gegeven in de eenheid becquerel (Bq). [P3, T3, W3]
- 9** Je moet weten dat het doordringend vermogen van straling (de dracht) in een stof afhangt van de soort straling en de soort stof. [P4, T4, W4]
- 10** Je moet weten dat straling celweefsel kan beschadigen. [T5, W5]
- 11** Je moet met behulp van de halveringstijd kunnen uitrekenen hoeveel radioactief materiaal er na een bepaalde tijd nog is overgebleven. [P5, T5, W5]
- 12** Je moet weten dat straling wordt toegepast in de medische wetenschap. [T6, W6]
- 13** Je moet weten hoe men zich tegen straling kan beschermen. [P6, T6, W6]
- 14** Je moet de voor- en nadelen van kerncentrales kennen. [P6, T6, W6]

T1 Bouw van de materie

Straling

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

De straling is ontdekt in 1896. De Fransman Becquerel merkte dat bepaalde stoffen onzichtbare straling uitzenden. Hij maakte deze straling zichtbaar met fotografisch papier. Pierre en Marie Curie gaven er de naam *radioactieve straling* aan. Zij ontdekten twee sterk stralende elementen: polonium en radium (figuur 1).

FIG. 1 Marie Curie leefde van 1867 tot 1934.



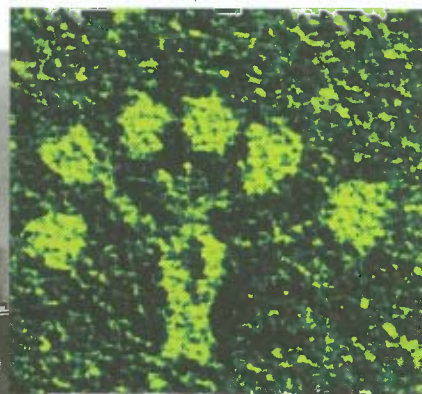
De naam *radioactieve straling* wordt veel gebruikt maar is onjuist en verwarrend. Radioactief betekent *straling uitzendend*. Je kunt dus wel spreken van radioactieve stoffen. Dat zijn stoffen die een bepaalde soort straling uitzenden. We zullen daarom de naam radioactieve straling in dit blok niet meer gebruiken. Wij hebben het voortaan over *ioniserende straling*. In T4 leer je waarom.

Om ioniserende straling te kunnen begrijpen, 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.

Bouw van de materie: moleculen en atomen

Al eerder heb je geleerd, dat alle stoffen zijn opgebouwd uit moleculen. Moleculen zijn heel kleine deeltjes. Moleculen zijn alleen met de allersterkste microscopen zichtbaar te maken (figuur 2).

FIG. 2 Moleculen zichtbaar gemaakt met een elektronenmicroscop.



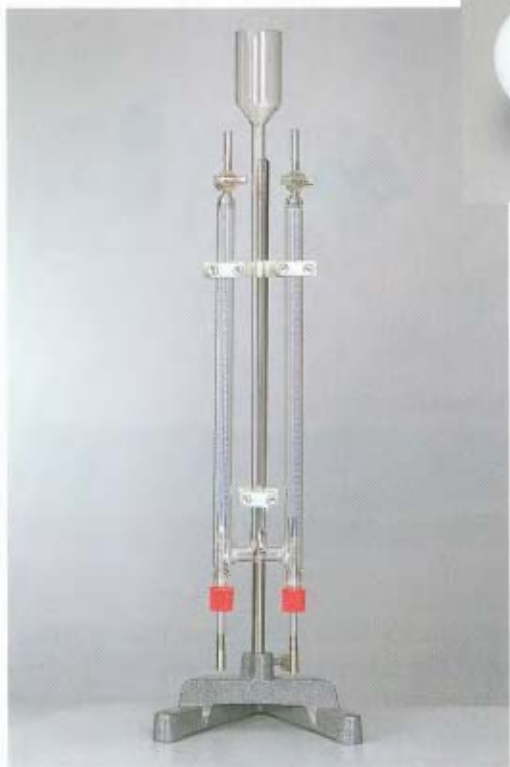


FIG. 3 Met dit apparaat kunnen we water ontleden in waterstof en zuurstof.

We nemen als voorbeeld water. In een druppel water zitten ongeveer 10^{21} (dat is een 1 met 21 nullen!) moleculen. Al deze moleculen zijn precies gelijk aan elkaar. Als we een watermolecuul uiteenrafelen, blijkt dat het is opgebouwd uit drie nog kleinere deeltjes (figuur 3). We noemen deze deeltjes *atomen*.

Eén molecuul water blijkt te bestaan uit twee atomen waterstof en één atoom zuurstof (figuur 4). Atomen kunnen met normale middelen niet verder opgedeeld worden.



FIG. 4 De bouw van een watermolecuul.

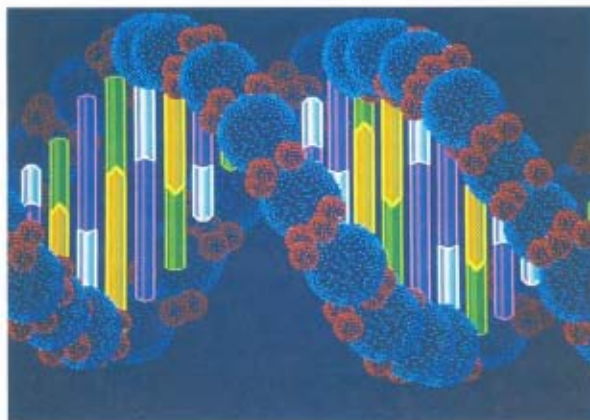


FIG. 5 Model van een DNA-molecuul.



HEEL GROTE MOLECULEN

Heel grote moleculen zijn onder andere de moleculen van de stof DNA. Eén DNA-molecuul kan honderdduizenden atomen bevatten (figuur 5). DNA is een stof die in iedere cel van elk levend wezen voorkomt. Met behulp van DNA worden onze erfelijke eigenschappen doorgegeven.

FIG. 6 Enkele elementen met hun scheikundige symbolen.

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

Er zijn miljoenen verschillende stoffen. Alle moleculen van dezelfde stof zijn hetzelfde. Er zijn dus miljoenen verschillende moleculen. Er zijn niet zoveel verschillende atoomsoorten nodig om al die verschillende moleculen te vormen. Er blijken slechts ruim honderd verschillende soorten atomen te bestaan. Stoffen bestaande uit één soort atomen worden *elementen* genoemd (figuur 6). In je informatieboekje vind je in tabel 6 een uitgebreidere lijst.

Bouw van het atoom

Atomen zijn kleiner dan moleculen. Vroeger stelden 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 de straling te bestuderen, 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

FIG. 7 Model van een atoom.

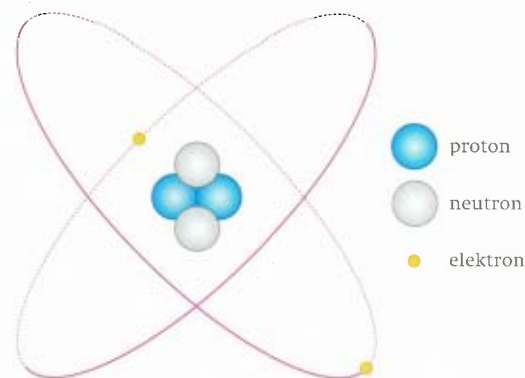


FIG. 8 Deeltjes binnen het atoom.

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

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* (ongeladen). Er cirkelen dus evenveel elektronen om de kern als er protonen in de kern zitten (figuur 8).

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

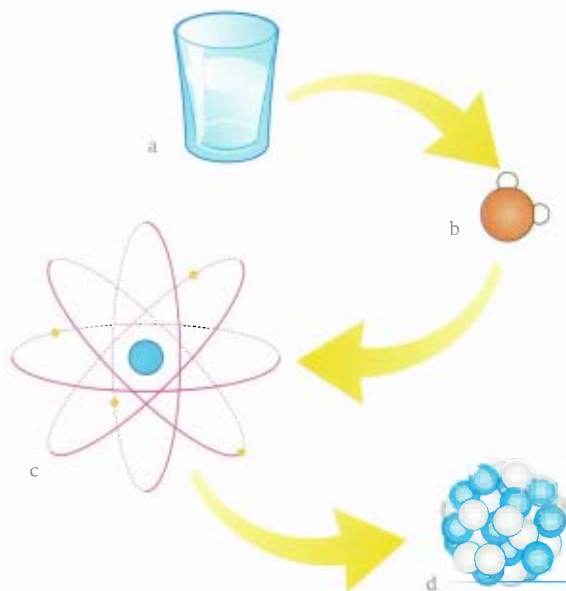
Van groot naar klein

Als we stoffen bekijken van groot naar klein, kunnen we zeggen:

- 1 Alle stoffen om ons heen zijn opgebouwd uit moleculen.
- 2 Al deze moleculen zijn opgebouwd uit atomen.
- 3 Deze atomen zijn opgebouwd uit protonen, neutronen en elektronen.

Pas als je weet hoe een atoom in elkaar zit, kun je begrijpen hoe ioniserende straling ontstaat. In figuur 9 wordt nog een keer uitgelegd hoe stoffen opgebouwd zijn. Een glas water (a) bevat heel veel waterdeeltjes. Het kleinste waterdeeltje is een molecuul (b). Het watermolecuul 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.

FIG. 9 Van groot naar klein.



- 1 **a** Welke deeltjes treffen we aan in een glas water?
b Uit welke deeltjes bestaat een watermolecuul?
c Welke deeltjes treffen we aan in een zuurstof-atoom?
d Welke deeltjes treffen we aan in een waterstof-atoom?
- 2 Leg uit waarom de naam radioactieve straling eigenlijk niet goed is.
- 3 Van een heliumatoom is het volgende gegeven: het bevat 2 protonen, 2 neutronen en 2 elektronen. Teken het model van dit heliumatoom.
- 4 Koolstofdioxide is een gas dat in de lucht voorkomt. Het wordt uitgedemd door mensen, dieren en planten. Een koolstofdioxide-molecuul bestaat uit 1 koolstofatoom en 2 zuurstofatomen. Teken twee koolstofdioxidemoleculen. Maak de koolstofatomen zwart en de zuurstofatomen rood.
- 5 Van een atoom is het volgende gegeven: het bevat 4 neutronen en 3 elektronen. Leg uit hoeveel protonen dit atoom bevat.
- 6 Leg uit waarom metalen goede geleiders zijn van elektrische stroom.

Wat zijn 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 element zijn 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 vijf isotopen van zuurstof.

De notatie van isotopen

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 kennen we zuurstof-15, zuurstof-16, zuurstof-17, maar ook uranium-235 en uranium-238.

Van het element waterstof kennen we drie isotopen (figuur 10): 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. In je informatieboekje vind je in tabel 6 een lijst van enkele isotopen.



FIG. 10 De drie isotopen van waterstof.

- 1 **a** Wat zijn isotopen?
b Wat is het verschil tussen zuurstof-16 en zuurstof-17?
- 2 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.
- 3 Van het element helium kennen we drie isotopen: helium-3, helium-4 en helium-6. Ieder helium-atoom heeft 2 elektronen.
a Hoeveel protonen zitten er in de kern van een heliumatoom?
b Hoeveel neutronen zitten er in de kernen van de verschillende heliumisotopen?

T3 Alfa-, bèta- en gammastraling

Activiteit

De meeste atomen zijn *stabiel*. Ze blijven eeuwig en altijd hetzelfde. Radioactieve stoffen bestaan uit atomen met kernen 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 grootheid *activiteit* geven we aan hoe radioactief een bepaalde stof is (figuur 11). Het symbool van 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.

Anders gezegd: een activiteit van 1 Bq betekent dat er iedere seconde één stralingsdeeltje wordt uitgezonden.

FIG. 11 Het gevarensymbool voor radioactiviteit.



FIG. 12 Alfaverval. Uit de kern van een uraniumatoom (92 protonen en 146 neutronen) verdwijnt een alfadeeltje bestaande uit 2 protonen en 2 neutronen. Het nieuwe atoom is een atoom van het element thorium (90 protonen en 144 neutronen).

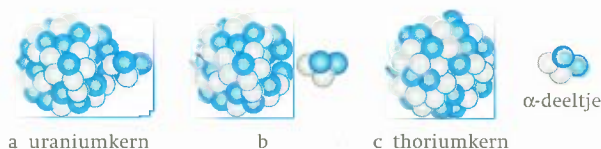


FIG. 13 Bètaverval. Uit de kern van een lithiatoom verdwijnt een elektron. In de kern verandert een neutron in een proton. Het nieuwe atoom is een atoom van het element beryllium.

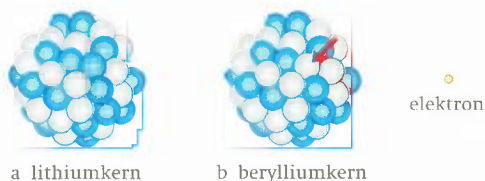
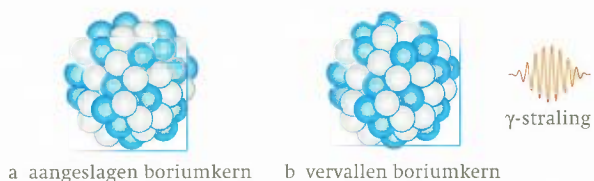


FIG. 14 Gammaverval. Uit de kern van een boriumatoom verdwijnt energie. De kern verandert niet van samenstelling.



Drie soorten straling

Instabiele atoomkernen kunnen straling uitzenden. Er blijken drie verschillende soorten straling te zijn.

ALFASTRALING (α -STRALING)

Als een kern alfastraling uitzendt, vliegt er een stukje van de kern weg (figuur 12). Dat alfadeeltje bestaat uit twee protonen en twee neutronen. De kern die overblijft heeft dus twee protonen en twee neutronen minder dan de oorspronkelijke kern.

BETASTRALING (β -STRALING)

Als een kern bètastraling uitzendt, gaat in de kern een neutron spontaan over in een proton en een elektron (figuur 13). Het proton blijft in de kern zitten. Het elektron schiet weg. Het wegschietende elektron noemen we bètastraling. De kern die overblijft heeft dus een proton meer en een neutron minder dan het oorspronkelijke atoom.

GAMMASTRALING (γ -STRALING)

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 (figuur 14). Gammastraling bestaat dan ook niet uit deeltjes, maar is *elektromagnetische straling*, net als licht. Met dit verschil, dat gammastraling onzichtbaar en gevaarlijk is. Er verdwijnt geen deeltje uit de kern. De kern verandert dus niet.

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 de buis altijd een uitslag geven, ook als er geen radioactieve stof in de buurt is. De GM-telbuis meet dan de *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. Bovendien komt er straling vanuit de ruimte: de kosmische straling. Er zijn dus verschillende bronnen van achtergrondstraling (figuur 15). Je hoeft je echter geen zorgen te maken over de achtergrondstraling. Deze straling is er altijd al geweest en je lichaam is er aan gewend.

FIG. 15 Bronnen van achtergrondstraling.

 <p>1 vliegreis 0,01 mSv per keer</p>	 <p>2 natuurlijke straling 0,8 mSv per jaar</p>
 <p>3 lichtgevend horloge 0,005 mSv per jaar</p>	 <p>4 voedsel 0,3 mSv per jaar</p>
 <p>5 televisie kijken 0,01 mSv per jaar</p>	 <p>6 skivakantie 0,03 mSv per jaar</p>
 <p>7 röntgenonderzoek 0,3 tot 0,6 mSv per jaar</p>	 <p>8 huizen 0,1 tot 0,2 mSv per jaar</p>

- Leg uit wat er bedoeld wordt met de activiteit van een radioactieve bron.
 - Wat is het symbool van activiteit en hoe heet de bijbehorende eenheid?
- Nynke beweert: de meeste stoffen om ons heen bezitten atoomkernen die niet stabiel zijn. Welke fout maakt Nynke?
- Leg uit wat er bedoeld wordt met achtergrondstraling.
 - Noem de natuurlijke bronnen van achtergrondstraling.
 - Noem de kunstmatige bronnen van achtergrondstraling.
- De natuurlijke activiteit van aardappelen is 20 Bq per 100 gram. Dit wordt veroorzaakt door radioactief kalium
 - Leg uit wat dit betekent.
 - Bereken de activiteit van 5 kg aardappelen.
- Een partij voedsel is besmet geraakt met radioactief jood (jodium). Het voedsel heeft daardoor een activiteit gekregen van 100 Bq per 100 g. De veiligheidsnorm is 250 Bq per kg. Is dit voedsel geschikt voor consumptie?
- 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 stralingspuls. Ook de achtergrondstraling meten we drie keer. We vinden in 10 seconden 32, 25 en 27 stralingspuls. Bepaal de gemiddelde activiteit van jood-131 als je aan mag nemen dat alle straling op de detector van de GM-buis valt.

- 7
 - a Geef de samenstelling van het α -deeltje.
 - b Geef de samenstelling van het β -deeltje.
 - c Geef de samenstelling van het γ -deeltje. (Pas op!)

- 8 In de kern van een uranium-235-atoom zitten 92 protonen. Uranium-235 is radioactief en vervalt door het uitzenden van een α -deeltje.
 - a Bereken het aantal neutronen in de kern van uranium-235.
 - b Beschrijf wat er gebeurt als uranium-235 vervalt.
 - c Bereken het aantal protonen en neutronen in de kern die ontstaat na het verval.
 - d Is de vervallen kern nog steeds uranium?

- 9 In een strontium-90-kern zitten 38 protonen. Strontium-90 is radioactief en vervalt door het uitzenden van een β -deeltje.
 - a Bereken het aantal neutronen in de kern van strontium-90.
 - b Beschrijf wat er gebeurt als strontium-90 vervalt.
 - c Bereken het aantal protonen en neutronen in de kern die ontstaat na het verval.
 - d Is de vervallen kern nog steeds strontium?

- 10 In een cesium-137 kern zitten 55 protonen. Cesium-137 is radioactief en zendt γ -straling uit.
 - a Bereken het aantal neutronen in de kern van cesium-137.
 - b Beschrijf wat er gebeurt als cesium-137 vervalt.
 - c Bereken het aantal protonen en neutronen in de kern die ontstaat na het verval.
 - d Is de vervallen kern nog steeds cesium?

Ionen

In atomen en moleculen is het aantal protonen gelijk aan het aantal elektronen. Atomen en moleculen zijn daardoor elektrisch neutraal. Onder bepaalde omstandigheden kunnen atomen of moleculen 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.

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-molecuul. Daardoor kunnen cellen ontstaan die zich ongebreideld gaan delen (kankercellen). Bovendien kan straling atomen 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 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 heliumatoom.

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

- 1 De soort straling: α -straling heeft de kleinste dracht, γ -straling heeft de grootste dracht.
- 2 De dichtheid van de stof die bestraald wordt: hoe groter de dichtheid, hoe kleiner de dracht. De dracht in lucht is groter dan in lood. (Lood heeft een veel grotere dichtheid.)

In plaats van dracht wordt ook wel het begrip *doordringend vermogen* gebruikt. In de tabel van figuur 16 staat de dracht van de verschillende soorten straling.

FIG. 16 De dracht van ioniserende straling.

soort straling	dracht
α -straling	in lucht enkele cm; wordt door vel papier tegengehouden
β -straling	in lucht enkele m; in metalen enkele mm
γ -straling	in lucht honderden m; in lood vele cm

- 1 **a** Leg uit wat ionen zijn.
b Leg uit wat er gebeurt als een atoom door straling wordt geïoniseerd.
- 2 De ioniserende werking van α -straling is groter dan van β -straling (in dezelfde stof). Geef hiervoor een verklaring.
- 3 Ook bij scheikunde krijg je te maken met ionen. Als bijvoorbeeld 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.
- 4 **a** Leg uit wat we verstaan onder de dracht van straling.
b Van welke twee factoren hangt de dracht van de straling in een stof af?
- 5 Bij toepassingen van radioactieve stoffen in het ziekenhuis worden loodplaten gebruikt. Leg uit waarom dat gedaan wordt.

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:

- de stof waaruit het voorwerp bestaat;
- 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 17).

FIG. 17 De effecten van ioniserende straling op het menselijk lichaam. De eenheid mSv (millisievert) is een maat voor de biologische schade veroorzaakt door de ontvangen straling.

dosis (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	1 Geringe verschijnselen van stralingsziekten binnen enkele uren na bestraling: vermoeidheid, braken, diarree, koorts. 2 Verminderde weerstand tegen infecties. 3 Bij kinderen: beschadiging van de groeizones in het skelet waardoor normale groei wordt geremd. 4 Langdurige steriliteit bij de man (een jaar).
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 10 000	ineens	Sterfte binnen een week door beschadiging van de dunne darm (darmsyndroom).
vanaf 50 000	ineens	Sterfte binnen enkele uren tot dagen door beschadiging van het centrale zenuwstelsel (beven, toevallen).

FIG. 18 Fotografisch materiaal gedragen op de kleding.



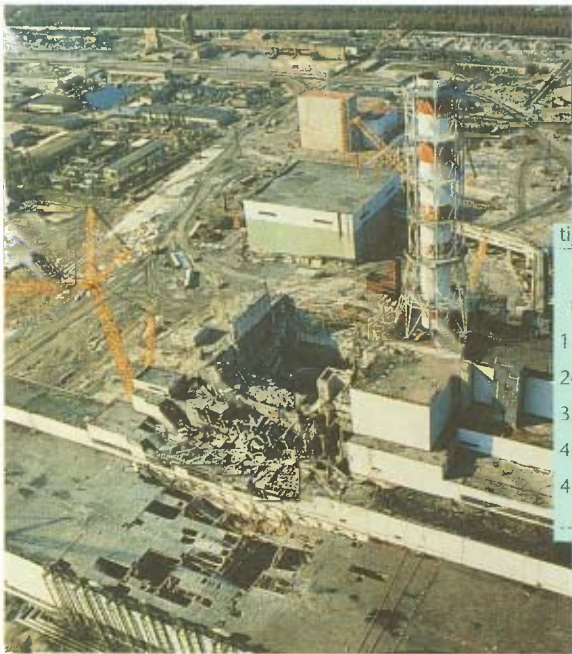
WERKEN MET RADIOACTIVITEIT

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 aan de kleding wordt vastgemaakt (figuur 18). De zwarting van het materiaal is een maat voor de ontvangen stralingsdosis.

Bij het ontploffen van atoombomben komen grote hoeveelheden ioniserende straling vrij. Tevens worden grote hoeveelheden radioactief materiaal de lucht in geslingerd. Deze radioactieve stoffen kunnen zich over duizenden kilometers afstand verspreiden. De stoffen komen tenslotte als *fall-out*, vaak met regen, weer op de aarde terecht. Door het inademen of eten van dit radioactief materiaal 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 in 1986 werd radioactief materiaal over een afstand van meer dan 2000 km verspreid (figuur 19). Planten en dieren werden besmet. Daardoor mocht gedurende een bepaalde tijd bijvoorbeeld geen spinazie uit Nederland gegeten worden. Lamsvlees uit Ierland moest vernietigd worden.

FIG. 19 De ramp met de centrale in Tsjernobyl.



Halveringstijd

Een radioactieve stof zendt op den duur steeds minder straling uit. Zo zendt een oplossing met het radioactieve isotoop jood-131 na 8 dagen nog maar de helft van de oorspronkelijke hoeveelheid straling uit. Bij een stof als uranium duurt het veel langer voordat de straling met de helft is afgenomen: miljoenen jaren. Elke stof heeft dus zijn eigen tijdsperiode waarin de straling halveert. Deze tijdsperiode noemen we de halfwaardetijd of *halveringstijd*. Voor jood-131 is de halveringstijd 8 dagen. Andere halveringstijden kun je vinden in je informatieboekje. Kijk in tabel 6 van de isotopen.

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 jood-kernen over. Als we weer 8 dagen wachten, 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 deel enzovoorts. Met de afname van het aantal jood-131-kernen (het aantal kernen dat kan vervallen) neemt ook de hoeveelheid straling af (figuur 20 en 21).

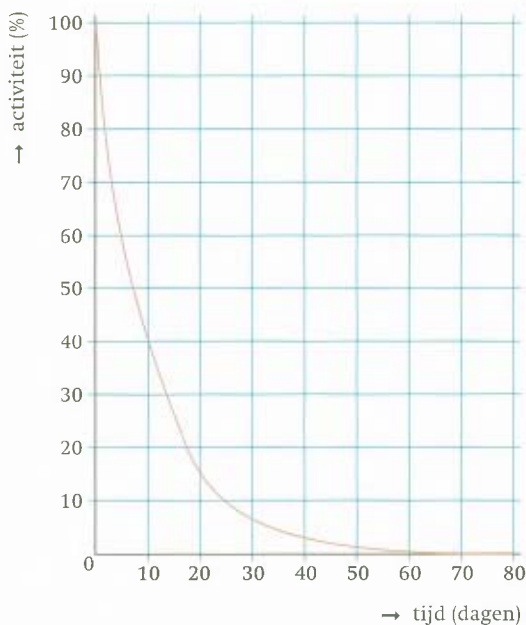
FIG. 20 De afname van de activiteit in tabelvorm.

tijd (dagen)	activiteit (%)	activiteit (deel)
0	100	1
8	50	1/2
16	25	1/4
24	12,5	1/8
32	6,25	1/16
40	3,13	1/32
48	1,56	1/64

LET OP: deze tabel kun je gebruiken voor elke radioactieve stof. Het enige wat je hoeft te doen, is de bij de stof horende halveringstijd (in gedachten) in te vullen in de tijd kolom.

Een radioactieve isotoop met een *kleine* halveringstijd zendt per seconde *veel* straling uit. In korte tijd vervallen veel kernen. Een isotoop met een *lange* halveringstijd zendt per seconde *minder* straling uit, maar wel gedurende een *langere* tijd.

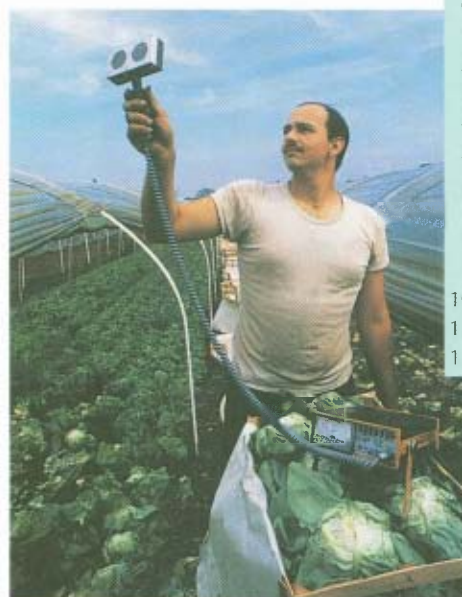
FIG. 21 De afname van de activiteit in diagramvorm.



- 1 Wat is fall out?
- 2 Leg uit wat het verschil is tussen radioactief bestraald worden en radioactief besmet raken.
- 3 Met een stralingsmeter (figuur 22a) meet men de hoeveelheid straling die door het afval van een kerncentrale wordt uitgezonden. In het afval komt één radioactieve isotoop voor. De metingen zijn weergegeven in een tabel (figuur 22b).
 - a Teken een diagram dat het verband aangeeft tussen de activiteit van het afval en de tijd.
 - b Bepaal uit drie verschillende tijdsintervallen de halveringstijd van dit element.

FIG. 22b Tabel met gemeten waarden.

Fig. 22a Stralingsmeter.



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

T6 Toepassingen van straling

- 4 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.
- Bereken de activiteit van bron A na 24 dagen.
 - Bereken de activiteit van bron B na 70 dagen.
 - Teken in een diagram de grafiek die weergeeft hoe de straling van isotoop A in 60 dagen afneemt.
 - Teken in hetzelfde diagram de grafiek die weergeeft hoe de straling van isotoop B in 60 dagen afneemt.
- 5 **a** Zoek in je informatieboekje de halveringstijd van koolstof-14 op.
- Bepaal na hoeveel tijd nog maar 3% ($\frac{1}{32}$ deel) van de oorspronkelijke straling wordt uitgezonden.
 - Bepaal na hoeveel tijd de straling met 75% is afgenomen.
 - Na hoeveel tijd zullen alle kernen van deze isotoop vervallen zijn?

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 bepaalde eigenschappen van de straling:

- 1 Je kunt precies nagaan waar de radioactieve stof zich in het lichaam bevindt. Er bestaan meetinstrumenten die ook de (zeer geringe) straling, afkomstig van de radioactieve stof, kunnen meten. De radioactieve stof werkt zo als *tracer*.
- 2 Straling van radioactieve stoffen kan lichaamscellen (kankercellen) doden.
- 3 Radioactieve stoffen verliezen hun stralende werking.

Als voorbeeld noemen we het schildklieronderzoek met radioactief jood (figuur 23 en 24). Jood wordt door het menselijk lichaam opgehoopt in de schildklier.

FIG. 23 Schildklieronderzoek.

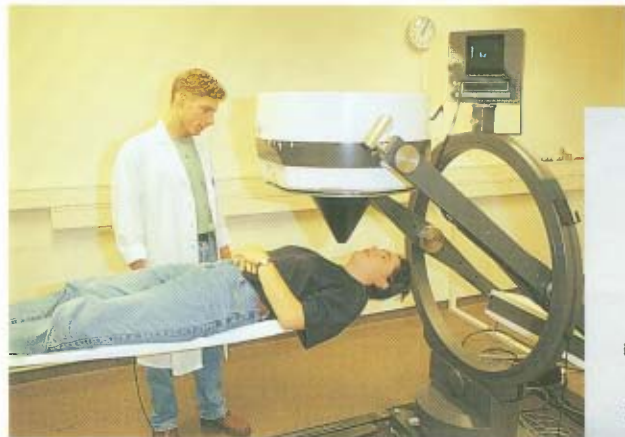
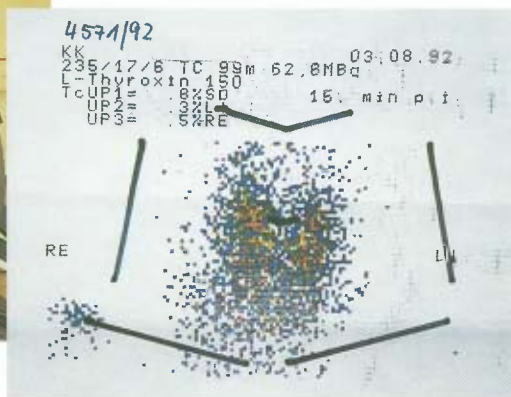


FIG. 24 Gammafoto van een schildklier.



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 stralende bronnen gebruikt, waarvan men de straling goed kan richten op het te bestralen weefsel. Hierdoor blijft de beschadiging van omliggend gezond weefsel beperkt (figuur 25).

FIG. 25 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 26). In de kernreactor worden atoomkernen van uranium-235 gespleten door deze te beschieten met neutronen: *kernsplijting*. Bij de kernsplijting wordt een klein deel van de atoommassa omgezet in warmte. Hiermee wordt water verhit tot stoom. Deze stoom staat onder grote druk. Met behulp van deze druk wordt een grote dynamo aan het draaien gebracht. Deze dynamo levert elektrische energie.

FIG. 26 Kerncentrale.





FIG. 27 Symbool dat waarschuwt voor ioniserende straling.

Voordelen van kerncentrales:

- Er is maar weinig uranium nodig voor de productie van veel elektrische energie.
- Er is geen milieuverontreiniging door verbrandingsgassen zoals CO_2 , SO_2 en NO_2 . Dus geen bijdrage aan het broeikas-effect en geen zure regen.

- Elektrische energie uit kernenergie is goedkoop.

Nadelen van kerncentrales:

- Bij de kernsplijting ontstaan stoffen die sterk radioactief zijn (radioactief afval). Bij de verwerking en opslag kunnen deze stoffen in het milieu terechtkomen.
- 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 koelwater nodig. Dit water kan radioactief besmet raken.
- Sommige stoffen die in de kerncentrale ontstaan, kunnen gebruikt worden voor het maken van kernwapens.

FIG. 28 Röntgenlaborant in het ziekenhuis.



Stralingsbescherming

Straling is gevaarlijk. Vooral voor mensen die dagelijks met radioactieve bronnen moeten werken, is bescherming van het grootste belang (figuur 27). Voortdurend wordt gemeten hoeveel straling er in een ruimte aanwezig is en hoeveel straling men heeft ontvangen.

Voor bescherming tegen de straling wordt vaak gebruik gemaakt van lood. Lood heeft een grote dichtheid. Daarom is de dracht van de straling in lood klein. 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 28).

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

Fig. 29 Anti-kernenergie demonstratie.



- 1 **a** Zoek in een woordenboek de betekenis op van het woord *tracer*.
b In een ziekenhuis is een afdeling radiologie. Wat betekent dat woord?
c Wat betekent het woord radiotherapie?
- 2 Verklaar waarom een vaste stof een betere bescherming biedt tegen straling dan een vloeistof.
- 3 Een bepaalde isotoop zendt α -straling uit. Het is veel gevaarlijker als je iets van deze stof inslikt dan wanneer je er een beetje van morst. Geef hiervoor een verklaring.
- 4 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.
- 5 In ziekenhuizen worden voor onderzoek isotopen gebruikt met een kleine halveringstijd.
a Leg uit waarom.
b Is je antwoord op vraag 5a niet in strijd met je antwoord op vraag 4? Geef een toelichting.
- 6 Waarom wordt voor de behandeling van huidkanker een bron gebruikt die β -straling uitzendt en geen γ -straling?
- 7 Lees opnieuw de voor- en nadelen van kerncentrales (figuur 29). Probeer een afweging te maken voor of tegen het gebruik van kernenergie. Schrijf jouw mening op.
- 8 Plutonium-239 is een radioactief afvalproduct van een kerncentrale.
a Zoek in je informatieboekje de halveringstijd van plutonium-239 op.
b Leg uit dat plutonium-239 zeer lange tijd afgeschermd van het milieu moet worden opgeslagen.

H1 Radioactiviteit

Lees de tekst die hierna volgt door. Aan het einde van elk gedeelte worden vragen gesteld. De antwoorden op deze vragen moet je weten.

Atoombouw

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.

- 1 **a** 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 elektrische lading van de deeltjes met elkaar.

Ionen

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 het aantal protonen in de kern, noemen we zo'n atoom een ion.

- 2 Wanneer spreken we bij een atoom over een ion?

Isotopen

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.

- 3 Leg uit wat we bedoelen met isotopen van één element.

Radioactief

Atoomkernen kunnen stabiel of instabiel zijn. Stabiele kernen blijven altijd hetzelfde. Instabiele kernen noemen we radioactief. Door straling uit te zenden proberen deze kernen stabiel te worden. Meestal ontstaat daarbij een atoomkern van een ander element. Die atoomkern kan ook weer instabiel zijn.

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

Drie soorten straling

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. 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 en een elektron. De derde soort straling is γ -straling. Daarbij komt geen deeltje uit de kern maar alleen energie.

- 5 **a** Welke soorten straling ken je?
- b** Noteer de deeltjes waaruit elke soort straling bestaat.

H2 Halveringstijd

Ioniserende werking en dracht

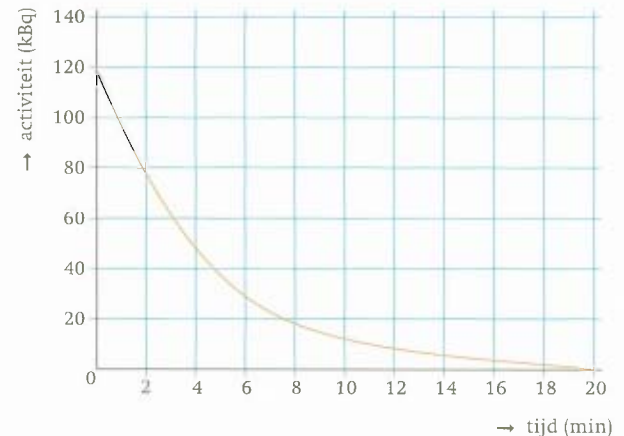
Het gevaar van straling zit in de energie van de straling. Door bestraling van atomen kunnen die atomen elektronen kwijtraken. We noemen dit de ioniserende werking van straling. Door de botsingen met de atomen raakt de straling een deel van zijn energie kwijt. Hoe meer botsingen des te sneller is de energie op. Dan kan de straling geen atomen meer ioniseren. De afstand die de straling aflegt in een stof, noemen we de dracht.

- 6 a Wat bedoelen we met ioniserende werking van straling?
 b Maak een tabel van de dracht van de drie soorten straling in verschillende stoffen.

Een radioactieve bron bevat een aantal instabiele atomen van een bepaald element. Door het uitzenden van straling vervallen deze atomen tot ze stabiel worden. Het aantal instabiele atomen neemt dus af. Het aantal stralingsdeeltjes dat per seconde wordt uitgezonden, neemt dus ook af. Anders gezegd: de *activiteit in Bq* neemt af. Na verloop van tijd is de activiteit gehalveerd. De tijd waarin dit gebeurt, noemen we de *halveringstijd*.

De halveringstijd is voor één 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!

FIG. 30 Het verband tussen de activiteit en de tijd.



VOORBEELD: Een radioactieve bron heeft een activiteit van 120 kBq. Bij deze bron hoort een halveringstijd van 3 minuten. Dat betekent dat na 3 minuten de activiteit gehalveerd is tot 60 kBq. Weer 3 minuten later, dus 6 minuten na het begin, is de activiteit opnieuw gehalveerd tot 30 kBq. Dat is een kwart van de oorspronkelijke activiteit. Na 9 minuten is de activiteit 15 kBq, na 12 minuten 7,5 kBq, enzovoort. In het diagram (figuur 30) zie je het verband tussen de activiteit van deze bron 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 $\frac{1}{16}$ deel van de oorspronkelijke hoeveelheid is afgenomen.

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

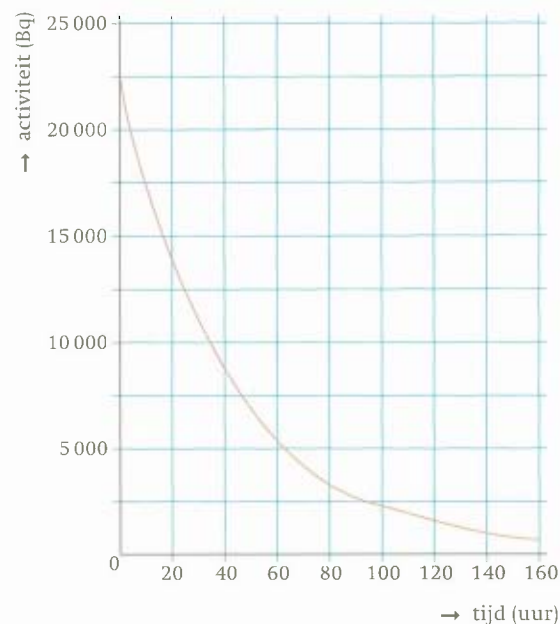
- 2** Van een radioactieve bron wordt de hoeveelheid uitgezonden straling gemeten met een GM-telbuis. De meetresultaten zijn weergegeven in een diagram (figuur 31).

a Bepaal met behulp van de grafiek de halveringstijd.

b Bepaal welk deel van het oorspronkelijke 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.

FIG. 31 Het verband tussen de activiteit en de tijd.



- 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.

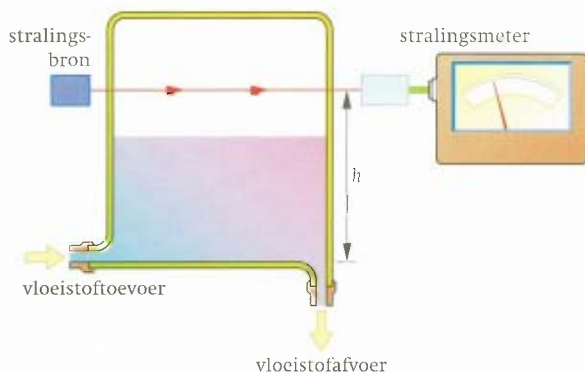
a Teken het diagram dat het verband aangeeft tussen de hoeveelheid straling en de tijd.

b Bepaal met behulp van de grafiek de halveringstijd.

H3 Oefenen met examenopgaven

- 1 Op een bepaald moment wordt de activiteit van een radioactieve stof bepaald.
 - a In welke eenheid wordt de activiteit gemeten? Na 3 dagen wordt de meting herhaald. De activiteit blijkt te zijn afgenomen tot $\frac{1}{4}$ van de oorspronkelijke waarde.
 - b Hoe groot is de halveringstijd van de radioactieve stof?
 - A $\frac{3}{4}$ dag
 - B 1 dag
 - C $1\frac{1}{2}$ dag
 - D 6 dagen
 - E 12 dagen
- 2 Het vloeistofniveau van een vat mag soms niet te hoog komen. Om dit vloeistofniveau te bewaken kan men gebruik maken van een radioactieve stralingsbron en een stralingsmeter die precies tegenover elkaar zijn opgesteld. De stralingsbron zendt straling door het vat in de richting van de stralingsmeter (figuur 32).

FIG. 32 Regeling van het vloeistofniveau.



a Welke soort straling gaat het beste door het vat heen?

Als de vloeistof de maximumhoogte h passeert, zal de stralingsmeter minder aanwijzen. Daardoor wordt ervoor gezorgd dat de vloeistoftoevoer stopt.

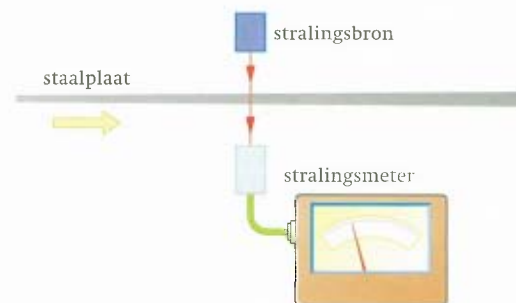
b Waardoor zal de stralingsmeter minder aanwijzen als de vloeistof de hoogte h passeert?

- 3 Na de ramp met de kerncentrale in Tsjernobyl is de centrale geheel ingepakt in beton. Ook hierna kwam er nog straling naar buiten. Welke soort straling wordt het *slechtst* door beton tegengehouden?
- 4 In een fabriek worden stalen platen gemaakt. De dikte van die platen wordt gecontroleerd. Dat gebeurt door zo'n plaat in de aangegeven richting door een opstelling van stralingsbron en stralingsmeter te bewegen (figuur 33).

Zoals je in de tekening kunt zien, passeert er een plaat die steeds dunner wordt.

 - a Leg uit hoe je met deze opstelling kunt merken dat de plaat steeds dunner wordt.
 - b Welke soort straling dringt door de staalplaat?
 - A alleen α -straling
 - B alleen γ -straling
 - C zowel α -straling als γ -straling

FIG. 33 Controle van de dikte van een staalplaat.



- 5 Welke deeltjes bevinden zich in de kern van de meeste soorten atomen?
- A elektronen en neutronen
 - B elektronen en protonen
 - C neutronen en protonen
- 6 De schildklier is een orgaan dat goed jood kan opnemen. Om de schildklier te onderzoeken, krijgen patiënten soms een 'radioactieve slok'. Dit is een drankje met daarin radioactief jood. Het radioactieve jood komt ook in de schildklier terecht. Men wil de straling die dit jood uitzendt buiten het lichaam meten.
- a Welke soort straling komt het best vanuit de schildklier buiten je lichaam?
- A α -straling
 - B β -straling
 - C γ -straling
- De patiënt hoort van de dokter dat na 2 weken nog 25% over is van het radioactieve jood.
- b Hoe groot is de halveringstijd van dit jood-isotoop?
- A $\frac{1}{2}$ week
 - B 1 week
 - C 2 weken
 - D 4 weken
 - E 8 weken
- 7 Bij radioactief verval wordt α -, β - en γ -straling uitgezonden. In welke volgorde heeft deze straling een steeds groter doordringend vermogen?
- A α - β - γ
 - B α - γ - β
 - C β - α - γ
 - D β - γ - α
 - E γ - α - β
 - F γ - β - α
- 8 Voor een onderzoek van de schildklier gebruikt men een bepaald joodisotoop. Waarin verschillen de kernen van joodisotopen van elkaar?
- A Alleen het aantal neutronen is verschillend.
 - B Alleen het aantal protonen is verschillend.
 - C Het aantal protonen en neutronen is verschillend.