

5.4 Activiteit en halveringstijd

Op de foto van figuur 5.22 zie je een aantal glazen buitenlands bier. De schuimkraag is niet steeds even dik.

Startupdracht

37

Bij veel biersoorten zakt de schuimkraag na verloop van tijd in. Daarom wordt er soms wat bier bij getapt voor het glas wordt uitgedeeld. Als je niet bijtapt en de hoogte van de schuimkraag van een glas meet, zou je de volgende gegevens kunnen vinden:

- $t = 0\text{ s}$ $d = 3,0\text{ cm}$ • $t = 130\text{ s}$ $d = 1,4\text{ cm}$
- $t = 40\text{ s}$ $d = 2,4\text{ cm}$ • $t = 160\text{ s}$ $d = 1,2\text{ cm}$
- $t = 90\text{ s}$ $d = 1,8\text{ cm}$ • $t = 200\text{ s}$ $d = 0,9\text{ cm}$

- a Maak een diagram van de dikte van de schuimkraag tegen de tijd.
- b Kun je een verband vinden tussen de dikte en de tijd?
- c Bepaal hoe lang een barkeeper kan wachten met het uitdelen van het bier als de schuimkraag minimaal 2,0 cm moet zijn.

Activiteit

Radioactieve stoffen zenden straling uit. Voor het gebruik in allerlei toepassingen wil je meten hoe intens de straling is en hoe de intensiteit in de loop van de tijd verandert. Je weet dat bij het uitzenden van α - of β -deeltjes de kern verandert. Het aantal kernen dat

deze straling kan uitzenden vermindert dus voortdurend. Daardoor neemt de intensiteit van de straling in de loop van de tijd steeds verder af.

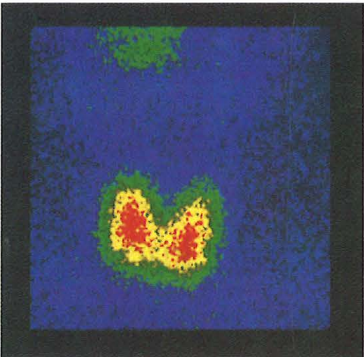
De **activiteit** A is het aantal kernen dat per seconde vervalst. Als bij het verval één deeltje of één foton ontstaat is A ook gelijk aan het aantal deeltjes of fotonen dat de stof per seconde uitzendt. De eenheid van A is becquerel (Bq). 1 Bq komt overeen met één vervallen kern per seconde of één uitgezonden deeltje of foton per seconde. De bron zelf absorbeert ook een deel van de straling. Hierdoor zal in de praktijk het aantal deeltjes dat de bron uitzendt kleiner zijn dan het aantal deeltjes dat vervalst. In dit hoofdstuk zullen we hier verder geen rekening mee houden.

Je meet de straling van stoffen meestal met een GM-teller. Die telt slechts een deel van de deeltjes dat op de teller valt en geeft het aantal weer op een display. Er zijn ook scintillatietellers, die per ontvangen deeltje een klein lichtflitsje produceren. Ze tellen het aantal lichtflitsjes per seconde. Je moet altijd rekening houden met de natuurlijke achtergrondstraling. In voorbeeld 1 zie je hoe je dat doet.

Patiënten met een gezwel aan de schildklier worden vaak ingespoten met het radioactieve joodisotoop $I-123$ (een γ -straler). Met een detector kun je na enige tijd een foto maken van de uitgezonden γ -straling. Zo kun je de plaats en de omvang van het gezwel vaststellen. Zie figuur 5.23. Op een plaats met grotere activiteit (op de foto rood) zit veel jood.



5.22 Bier tappen



5.23 Een gammabeeld van een schildklier

Voorbeeld 1 Rekenen met een GM-teller

Bij het meten van de straling van een radioactieve bron geeft een GM-teller na 10 s 352 aan. Zonder bron geeft de teller 30 deeltjes in een halve minuut. Op de telbuis valt slechts 0,85% van de uitgezonden straling. De teller meet 21% van de straling die op de telbuis valt.

- a Bereken wat de teller na 10 s zou hebben aangegeven als de achtergrondstraling er niet zou zijn.
- b Bereken de activiteit van de bron.

a De achtergrondstraling is 30 deeltjes per halve minuut. Dat betekent 10 per 10 s. De teller zou dus $352 - 10 = 342$ hebben aangegeven.

b De gecorrigeerde waarde voor de activiteit ter plaatse is dus $\frac{342}{10} = 34$ Bq en dat is 21%.
Op de telbuis valt dus $\frac{100}{21} \times 34 = 162$ Bq.

Deze 162 Bq is echter slechts 0,85% van de uitgezonden straling.

100% komt overeen met $\frac{100}{0,85} \times 162 = 19$ kBq.

De bron heeft dus een activiteit van 19 kBq.

Voorbeeld 2 Rekenen met de halveringstijd

Een radioactieve bron bevat $8,0 \cdot 10^6$ instabiele kernen met een halveringstijd van 2,0 uur. Bereken het aantal instabiele kernen na 10 uur.

Op $t = 0$ is het beginaantal N_0 gelijk aan $8,0 \cdot 10^6$.

Na 2 uur (= 1 halveringstijd) is het aantal nog $N = \frac{1}{2} \times 8,0 \cdot 10^6 = 4,0 \cdot 10^6$.

Na 4 uur zijn er 2 halveringstijden voorbij.

Het aantal is $N = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times 8,0 \cdot 10^6 = 2,0 \cdot 10^6$.

Na 10 uur zijn er 5 halveringstijden voorbij:

$N = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times 8,0 \cdot 10^6 = 2,5 \cdot 10^5$.

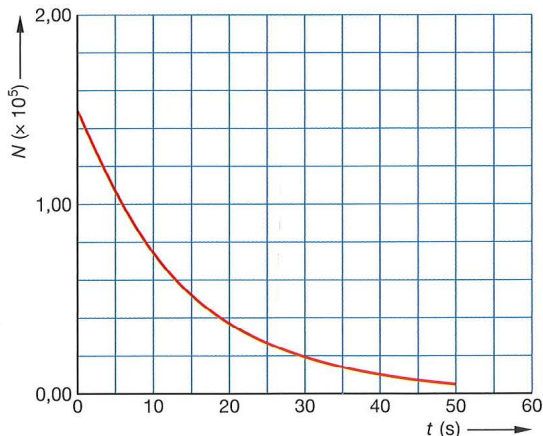
Het aantal aanwezige instabiele kernen bepaalt de activiteit. De activiteit is recht evenredig met het aantal instabiele kernen. De activiteit van een aantal instabiele kernen neemt dus ook af tot de helft in de halveringstijd. De grafiek van de activiteit tegen de tijd heeft dus dezelfde vorm als van het aantal instabiele kernen tegen de tijd. In voorbeeld 2 zie je hoe je met de halveringstijd kunt rekenen.

Wetenschappers hebben zich lange tijd afgevraagd of je de halveringstijd kunt verhogen of verlagen door de temperatuur van de stof te veranderen, de stof in een magneetveld te zetten of onder grote druk te zetten. Tot nu toe is er geen manier gevonden om de activiteit te verhogen of te verlagen. De halveringstijd is een vast getal, dat je niet kunt beïnvloeden en alleen afhangt van de mate van instabiliteit van de kern van een bepaalde isotoop.

● **De activiteit A van een radioactieve stof is het aantal kernen dat per seconde verval. De eenheid is becquerel (Bq). De activiteit meet je met een GM-teller of scintillatieteller. Daarbij moet je rekening houden met de achtergrondstraling.**

Halveringstijd

Kernen zijn na het uitzenden van straling veranderd. Het aantal moederkernen is afgenomen en het aantal dochterkernen is toegenomen. Verval is een toevals-proces, zoals al dobbelstenen werpen. Je kunt niet voorspellen welke kernen vervallen. Bij een groot aantal radioactieve kernen verval wel een vast gedeelte in een bepaalde tijd. Je kunt dat in een grafiek zetten. In figuur 5.24 zie je een grafiek waarbij elke seconde 7% van alle (nog) radioactieve kernen verval. De tijd waarin de helft van het aantal radioactieve kernen verval, noem je de **halveringstijd** (of de halfwaardetijd) $t_{1/2}$. De hoeveelheid kernen halveert steeds in die vaste tijd. In dit geval is de halveringstijd 10 s. Het (N,t) -diagram van figuur 5.24 noem je ook wel de **vervalkromme**.



5.24 Een vervalkromme

Zoals je kunt zien in *Binas* tabel 25 variëren halveringstijden van heel klein (minder dan een μs) tot heel groot (meer dan een miljard jaar). Bij een heel korte halveringstijd vervallen de kernen snel. Zulke isotopen zijn erg instabiel. Omgekeerd, als elke seconde slechts een heel klein deel vervalst, is de halveringstijd groot. Bijvoorbeeld U-238 met een halveringstijd van ruim vier miljard jaar is zo weinig instabiel dat je het nog op veel plaatsen in de aardkorst kunt vinden.

Je kunt het aantal instabiele kernen N in de loop van de tijd ook in een formule schrijven. Eerst moet je het aantal instabiele kernen bij het begin (op $t = 0$ s) weten, dat is N_0 . Na één halveringstijd (dus op het tijdstip $t = t_{1/2}$) is het aantal $N_0 \cdot \frac{1}{2}$. Na twee halveringstijden (dus op het tijdstip $t = 2t_{1/2}$) is het aantal gedaald tot $N_0 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = N_0 \cdot (\frac{1}{2})^2$ en na drie halveringstijden tot $N_0 \cdot (\frac{1}{2})^3$. Voor N geldt in het algemeen:

$$N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

- N is het aantal instabiele kernen na t seconden
- N_0 is het aantal instabiele kernen op tijdstip $t = 0$ s
- t is de lopende tijd in seconde (s)
- $t_{1/2}$ is de halveringstijd in seconde (s)
- $\frac{t}{t_{1/2}}$ is het aantal verstreken halveringstijden

Omdat de activiteit A recht evenredig is met het aantal instabiele kernen N geldt een vergelijkbare formule voor de activiteit:

$$A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

- A is de activiteit in becquerel (Bq) na t seconden
- A_0 is de activiteit op tijdstip $t = 0$ s in becquerel (Bq)
- t is de lopende tijd in seconde (s)
- $t_{1/2}$ is de halveringstijd in seconde (s)
- $\frac{t}{t_{1/2}}$ is het aantal verstreken halveringstijden

Schrijf je beide tijden in dezelfde eenheid, dan mag je ook andere eenheden gebruiken, zoals uur, dag of jaar. Als de beginactiviteit niet gegeven is, neem je bij berekeningen voor de beginactiviteit 100%. Het antwoord krijg je dan ook in procenten. Zie voorbeeld 3.

Voorbeeld 3 Rekenen met de formule voor activiteit

De tracer Tc-99m komt je veel tegen in ziekenhuizen. Bereken de activiteit van deze tracer na 36 uur, uitgedrukt als percentage van de beginactiviteit.

Gebruik de formule $A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$

Stel de beginactiviteit op 100%, dus $A_0 = 100\%$. Zoek de halveringstijd van Tc-99m op in *Binas* tabel 25: $t_{1/2} = 6,0$ uur.

Invullen in de formule geeft:

$$A = 100\% \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{36}{6,0}} = 1,6\%$$

De activiteit na 36 uur is 1,6% van de beginactiviteit.

- Bij verval blijven steeds minder instabiele kernen over, waardoor de activiteit steeds verder afneemt. Een maat voor de instabiliteit van een isotoop is de halveringstijd $t_{1/2}$. Dat is de tijd waarin de helft van alle instabiele kernen is vervallen, en ook de tijd waarin de activiteit A met de helft is afgenomen. Het aantal instabiele kernen in de loop van de tijd geef je weer in een vervalcurve. De halveringstijd is een eigenschap van de kernen en niet beïnvloedbaar. Hoe instabieler de kernen van een isotoop zijn, des te kleiner is de halveringstijd.

Halveringstijd en activiteit

De activiteit A is gelijk aan het aantal kernen dat per seconde vervalst. Het aantal kernen dat vervalst is gelijk aan de afname van het totaal aantal kernen:

$$A = - \frac{dN}{dt}$$

A is de activiteit in becquerel (Bq) na t seconde

$-\frac{dN}{dt}$ is het aantal vervallen deeltjes per seconde

Deze formule lijkt veel op de wiskundige notatie voor de afgeleide: $a = dy/dx$ en op de formules voor de momentane snelheid ($v = dx/dt$) en de momentane versnelling ($a = dv/dt$) uit hoofdstuk 1. De steilheid van de raaklijn aan een (N,t) -diagram op een willekeurig tijdstip t is dan ook gelijk aan de activiteit op dat tijdstip. Zie voorbeeld 4.

Bij lage activiteit neemt het aantal moederkernen langzaam af, dus duurt het lang voor de stof verdwenen is. De halveringstijd is dan groot. Omgekeerd geldt bij een korte halveringstijd dat de kernen in veel kortere tijd vervallen. Er vervallen veel meer kernen per seconde en de activiteit is veel groter. Activiteit A en halveringstijd $t_{1/2}$ blijken omgekeerd evenredig met elkaar te zijn. In formule:

$$A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} N$$

A is de activiteit in becquerel (Bq)

N is het aantal instabiele kernen

$t_{1/2}$ is de halveringstijd in seconde (s)

Voorbeeld 4 Bepalen van A uit het (N,t) -diagram

a Bepaal in figuur 5.25 A op $t = 8,0$ dagen.

b Controleer je antwoord met de formule voor A .

a Je tekent de raaklijn op $t = 8,0$ dagen en leest af:

$$\Delta N = -0,84 \cdot 10^9 \text{ kernen}$$

$$\Delta t = 19,5 \text{ dag} = 19,5 \times 24 \times 3600 = 1,68 \cdot 10^6 \text{ s}$$

$$\text{Dus } A(8,0) = -\frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{0,84 \cdot 10^9}{1,68 \cdot 10^6} =$$

$$= 499 \text{ kernen per seconde} = 5,0 \cdot 10^2 \text{ Bq}$$

b Op $t = 8,0$ dagen lees je af $N = 0,50 \cdot 10^9$.

Ook de halveringstijd kun je aflezen:

$$t_{1/2} = 8,0 \text{ dagen} = 8,0 \times 24 \times 60 \times 60 = 6,9 \cdot 10^5 \text{ s}$$

De activiteit A is dan:

$$\ln 2 \times \frac{0,50 \cdot 10^9}{6,9 \cdot 10^5} = 5,0 \cdot 10^2 \text{ Bq}$$

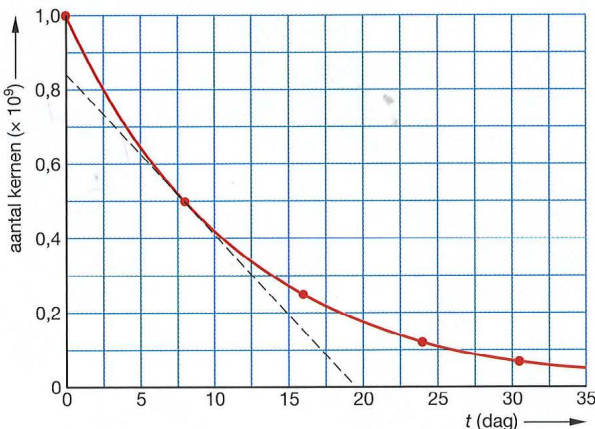
Het verband tussen activiteit en halveringstijd is voor radiologen in ziekenhuizen belangrijk. Ze gebruiken vaak radioactieve **tracers**. Een tracer verplaatst zich in het lichaam via het bloed of de darmen. De tracer moet voldoende activiteit hebben om buiten het lichaam meetbaar te zijn. Meestal betekent dat een korte halveringstijd van uren of hooguit een paar dagen. Dat is een voordeel voor de patiënt: hoe korter de stralingsbelasting hoe beter. Maar het is lastig voor de planning van de behandeling. Je moet de tracer vlak voor gebruik maken en dan zo snel mogelijk naar de bestralingsruimte brengen. Ziekenhuizen maken deze isotopen meestal niet zelf. Er zijn in de wereld een aantal kernreactoren die dit soort stoffen produceren. Daarvan staat er een in Nederland (Petten). De reactor in Petten verzorgt isotopen voor medische behandelingen over de hele wereld. Isotopen die in de VS worden gebruikt moeten een andere beginactiviteit krijgen dan isotopen die in Nederland worden gebruikt. Je moet immers rekening houden met de benodigde reistijd, voordat je de behandeling kunt uitvoeren.

Bij de juiste keus van de soort tracer moet de radioloog erop letten dat het doordringend vermogen zo groot is dat de straling uit het lichaam komt. Anders kan hij de straling niet meten. Meestal kiest hij daarom voor een γ -straler. Ook mag de stof niet schadelijk of giftig zijn voor het lichaam. Bovendien houdt de radioloog rekening met de **biologische halveringstijd**, de tijdsduur waarin een mens langs natuurlijke weg de helft van de opgenomen hoeveelheid radioactieve stof weer uitscheidt. Voor volwassenen is de biologische halveringstijd van bijvoorbeeld cesium 110 dagen, terwijl de gewone halveringstijd 138 dagen is.

● De activiteit op een tijdstip t is gelijk aan de helling van het (N,t) -diagram op datzelfde tijdstip. Activiteit en halveringstijd zijn omgekeerd evenredig met elkaar. Bij medische toepassingen moet je rekening houden met de activiteit, het doordringend vermogen en de halveringstijd. De biologische halveringstijd is de tijd waarin een mens de helft van de opgenomen radioactieve stof weer uitscheidt.

Opslag van radioactieve stoffen

Gebruikte brandstof uit kerncentrales en gebruikte isotopen uit ziekenhuizen vertonen soms nog een hoge activiteit. Dit radioactief afval moet je veilig opbergen, totdat de activiteit zover is afgenomen dat het niet meer schadelijk is. Omdat halveringstijden van duizenden tot



5.25 Bepaling van de activiteit uit de vervalcurve

honderdduizenden jaren kunnen voorkomen, moeten die stoffen dus zeer lang veilig worden opgeborgen. Daartoe giet je de stoffen in glas en beton in een roest-vrijstalen vat, waarop je een letter zet (zie figuur 5.26). Er zijn drie categorieën radioactief afval:

- Categorie A = kortlevend ($t_{1/2}$ minder dan 30 jaar) afval met middelmatige activiteit ($A < 400$ Bq per gram). Het bestaat voornamelijk uit gebruikte producten (filters, zuiveringsproducten, kleding en handschoenen, verpakkingen, naalden van spuiten) die (eventueel) in contact zijn gekomen met radioactieve stoffen.
- Categorie B = langlevend afval met middelmatige activiteit, maar met veel langere halveringstijden. Dit afval is voornamelijk afkomstig van de installaties die brandstof aanmaken voor kerncentrales en van de opwerkingsfabrieken voor bestraalde brandstof.
- Categorie C = langlevend hoogactief afval. Dit is afval dat bestaat uit afgewerkte brandstof uit kerncentrales (figuur 5.27).

De veilige bewaartijd is ruwweg tien keer de halveringstijd van de langstlevende isotoop. Afval van categorie A bevat stoffen met een halveringstijd van maximaal 30 jaar. Je moet dat dus enkele honderden jaren bewaren. Voor het afval van de categorieën B en C is dat duizenden en zelfs honderdduizenden jaren.

Veel mensen zijn er erg op tegen dat we deze stoffen voor zo lange tijd moeten opslaan. Tot nu toe zijn maar heel weinig plaatsen op aarde geschikt gebleken voor zo'n langdurige opslag. Daarom ligt het meeste hoogactieve afval nog in voorlopige bergplaatsen.

● **Er zijn drie categorieën radioactief afval. Vanwege de langdurige activiteit van isotopen met grote halveringstijd moeten ze heel lang veilig worden opgeslagen.**



5.26 Opslag van radioactief afval – hoe lang blijft het stralen?

Experiment

5.2 Halveringstijd

De activiteit van een radioactieve bron neemt af in de loop van de tijd.

De onderzoeksvraag is:

► Hoe bepaal je de halveringstijd van een radioactieve bron?

> [Complete instructies op de site](#)

Site

Verval in Excel

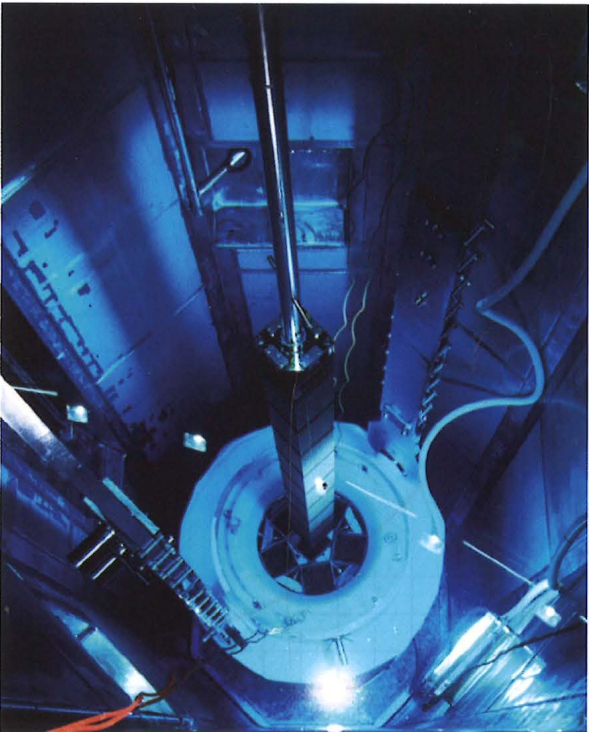
In het Excel-bestand Verval kun je voor verschillende halveringstijden de grafiek maken die het aantal overgebleven moederkernen weergeeft.

Radioactief verval

Een simulatie van het verval van verschillende elementen. Je ziet tegelijk het aantal moederkernen en het aantal dochterkernen.

Vervalkromme en halveringstijd

Radioactief verval en halveringstijd hangen met elkaar samen. Hoe reken je daarmee?



5.27 Splijstofstaven in een kerncentrale worden met afstandsbediening vervangen vanwege de hoge activiteit.

Opdrachten

A 38

- Omschrijf wat halveringstijd is.
- Na hoeveel halveringstijden is nog 1/8 van het aantal moederkernen over?
- Hoeveel procent van de oorspronkelijke moederkernen is na twee halveringstijden vervallen?

A 39

Zoek in *Binas* de halveringstijden op van de volgende isotopen:

- | | |
|----------------|---------------|
| 1 polonium-211 | 4 koolstof-14 |
| 2 beryllium-8 | 5 uranium-238 |
| 3 radon-220 | |

A 40

Je houdt een radioactieve bron voor het venster van een GM-teller.

Vul onderstaande zinnen in. Kies steeds uit *kleiner* of *groter*.

- Hoe meer instabiele kernen in de bron zitten, hoe het getal op de teller.
- Hoe groter de halveringstijd van de radioactieve stof in de bron, hoe het getal op de teller.
- Hoe langer je de bron bij de teller houdt, hoe het getal op de teller.
- Hoe verder je de bron van de teller houdt, hoe het getal op de teller.
- Hoe meer aluminium plaatjes je tussen bron en teller houdt, hoe het getal op de teller.
- Hoe groter het doordringend vermogen van de deeltjes die uit de bron vrijkomen, hoe het getal op de teller.

B 41 *

- Geef twee redenen waarom het tellen van bijvoorbeeld 40 α -deeltjes door een GM-teller niet betekent dat in de bron 40 kernen vervallen zijn.
- Waarom mag je tijdens het bepalen van de halveringstijd de afstand van de bron tot de teller niet veranderen?

B 42 *

Mensen denken vaak dat een materiaal met een korte halveringstijd veiliger is dan een materiaal met een lange halveringstijd, omdat het niet zo lang blijft bestaan.

Is dat zo? Geef antwoord met een duidelijke toelichting.

C 43 *

Bij het meten van de straling van een radioactieve bron geeft een teller 52 Bq aan. Zonder bron geeft de teller 45 deeltjes in een halve minuut. Op de teller valt slechts 0,93% van de uitgezonden straling. De teller meet 24% van de straling die op de telbuis valt.

- Corrigeer de tellerwaarde voor de achtergrondstraling.
- Bereken de activiteit van de bron.

C 44 *

Een bron met $^{226}_{88}\text{Ra}$ vervalst door uitzending van α -deeltjes.

- Bereken hoeveel procent Ra-226 er na $3,2 \cdot 10^3$ jaar over is.

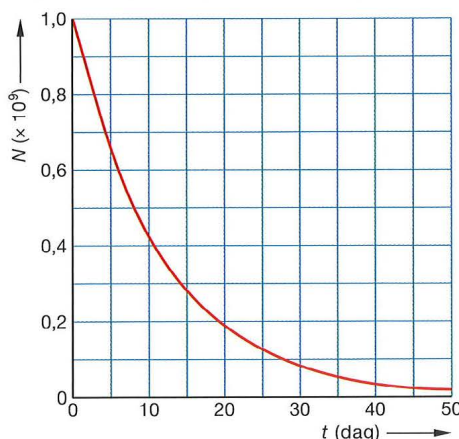
Neem aan dat de bron in het begin $4,0 \cdot 10^{19}$ kernen $^{226}_{88}\text{Ra}$ bevat.

- Teken een diagram met daarin het aantal kernen $^{226}_{88}\text{Ra}$ verticaal en de tijd horizontaal tot $10 \cdot 10^3$ jaar.
- Teken in een diagram het aantal uitgezonden α -deeltjes als functie van de tijd tot $10 \cdot 10^3$ jaar.
- Bepaal de activiteit van het Ra-226 op $t = 1,0 \cdot 10^3$ jaar.

C 45 *

In figuur 5.28 zie je de vervalkromme van I-131.

- Maak een tabel van het aantal kernen op $t = 0, 5, 10$ en 15 dagen.
- Bereken het percentage dat steeds in een periode van vijf dagen vervalt.
- Voorspel met gebruik van dat percentage hoeveel kernen vervallen tussen dag 15 en 20, en tussen dag 20 en 25.
- Bepaal de activiteit van de isotoop op $t = 10$ dagen.



5.28 De vervalkromme van I-131

C 46

In de lucht zit het radioactieve C-14, dat via de koolstofkringloop ook in planten en dieren terecht komt. C-14 heeft een halveringstijd van 5730 jaar. De concentratie C-14 in de atmosfeer is redelijk constant.

a Leg uit dat de concentratie alleen constant kan zijn, als er voortdurend nieuwe atomen C-14 ontstaan in de atmosfeer.

Bij een fossiel stuk bot meet je de activiteit. Deze activiteit wordt alleen veroorzaakt door C-14. De activiteit van het bot is 5,5 Bq.

b Leg uit dat je met dit gegeven nog niet de ouderdom kunt bepalen.

c Bereken het aantal atoomkernen C-14 in het bot.

Om de ouderdom te bepalen moet je kijken naar de verhouding tussen C-12 en C-14. Behalve het aantal atomen C-14 bepaal je dus het aantal atomen C-12 in het bot. De verhouding C-14 : C-12 in het bot blijkt tien keer zo klein te zijn als de verhouding in de atmosfeer. Dat betekent dat van het oorspronkelijke C-14 nog maar één tiende over is.

d Bereken daarmee de ouderdom van het bot.

C-14 wordt veel gebruikt voor het dateren van organisch archeologisch materiaal, zoals het hout van Romeinse schepen.

e Waarom is datering met C-14 ongeschikt voor boten van dinosauriërs?

D 47 *

Technetium $^{98}_{43}\text{Tc}$ heeft een halveringstijd van $4,2 \cdot 10^6$ jaar. Strontium $^{90}_{38}\text{Sr}$ heeft een halveringstijd van 28,79 jaar. Welke van de volgende beweringen zijn waar en welke niet waar?

- 1 Het percentage Sr dat per uur vervalst is groter dan het percentage Tc dat per uur vervalst.
- 2 De activiteit van 100 g Sr is kleiner dan de activiteit van 100 g Tc.
- 3 De lange halveringstijd van Tc betekent dat het element vervalst als gevolg van α -verval.
- 4 De kans dat een Tc-atoom binnen een jaar vervalst is groter dan de kans dat een Sr-atoom binnen een jaar vervalst.

D 48 *

Je bent nucleair geneeskundige en gaat een schildklierbehandeling uitvoeren. Eerst onderzoek je de schildklier met een tracer, daarna behandel je de schildklier door inwendige bestraling. Jodium is de aangewezen stof, omdat de schildklier die goed opneemt. Nu zijn er, volgens Binas tabel 25, vier isotopen van jodium.

Welke soort(en) ga je gebruiken? Leg je keuze(s) uit.

Na deze paragraaf kun je:

- de begrippen activiteit en halveringstijd toepassen;
- uit een vervalcurve de halveringstijd bepalen;
- uit een vervalcurve op ieder moment de activiteit bepalen;
- berekeningen maken met de formules voor aantal kernen en activiteit;
- uit activiteitsgegevens van organisch materiaal de leeftijd ervan bepalen.