

2023-2024

oefentoets radioactiviteit vwo bovenbouw

Natuurkunde

Opgavenblad

Bij deze toets hoort een uitwerkbijlage.

Deze toets bestaat uit 23 vragen. Voor deze toets zijn maximaal 52 punten te behalen. Voor elk vraagnummer staat hoeveel punten met een goed antwoord behaald kunnen worden.

Als bij een vraag een verklaring, uitleg of berekening vereist is, worden aan het antwoord meestal geen punten toegekend als deze verklaring, uitleg of berekening ontbreekt.

Open vragen

Geef niet meer antwoorden (redenen, voorbeelden e.d.) dan er worden gevraagd. Als er bijvoorbeeld twee redenen worden gevraagd en je geeft meer dan twee redenen, dan worden alleen de eerste twee in de beoordeling meegeteld.

vervalkromme

Een radioactief preparaat bevat slechts één isotoop die vervalst. Het vervalproduct (de dochterkernen dus) is stabiel. De hoeveelheid van de radioactieve isotoop is in diagram 1 weergegeven.

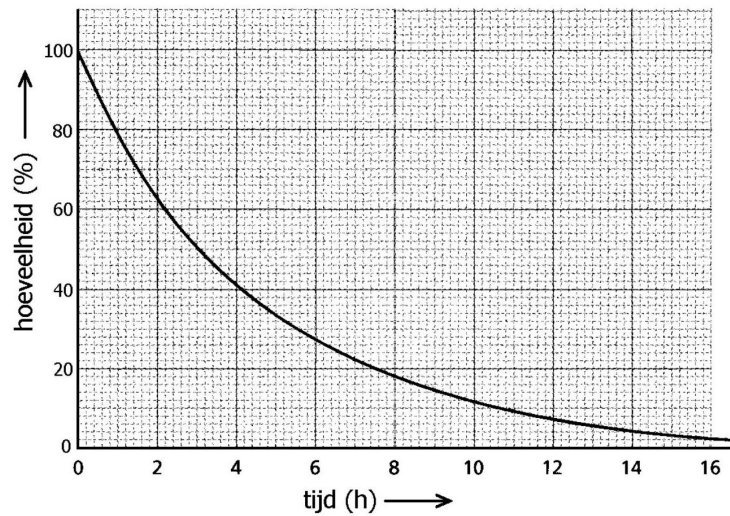


Diagram 1

- 1p **1** Bepaal uit het diagram de halveringstijd van de isotoop.

De activiteit van het preparaat in deze opgave bedraagt in het begin (op $t = 0$ h) 8,5 kBq.

- 2p **2** Bepaal de activiteit van het preparaat op $t = 8,0$ h. Maak hierbij geen gebruik van de halveringstijd die bij de vorige vraag bepaald is.

- 2p **3** Bereken het aantal radioactieve kernen dat in het begin (op $t = 0$ h) in het radioactieve preparaat zit.

Ziekte van Graves

Lees onderstaande tekst.

Behandeling van te snel werkende schildklier met radioactief

jodium Mensen met een te snel werkende schildklier hebben problemen met hun stofwisseling. Deze zogenaamde ziekte van Graves wordt behandeld door de patiënt radioactief jodium (jood) in te laten nemen: de zogenoemde 'radioactieve slok'. Het zijn vooral de te snel werkende schildkliercellen die het jodium opnemen. Deze cellen worden beschadigd door de straling die ze dan absorberen. Daardoor gaat de schildklier na enige tijd weer normaal functioneren.

Deze methode wordt al dertig jaar als een veilige behandeling toegepast. De patiënten kunnen meestal dezelfde dag weer naar huis. Wel moet men enkele voorzorgsmaatregelen in acht nemen, zoals: de eerste dagen twee keer achter elkaar de wc doortrekken en gedurende enkele weken geen baby's op schoot nemen.

In de "radioactieve slok" zit de isotoop jood-131 die bètastraling en gammastraling uitzendt.

1p **4** Geef de vervalreactie van jood-131.

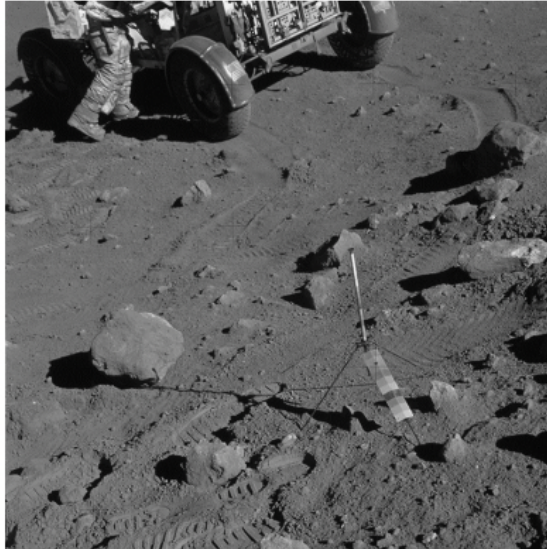
De straling beschadigt de schildkliercellen die het hardst werken. Hieronder staan een aantal beweringen.

1. De bètastraling is vooral verantwoordelijk voor de beschadiging omdat deze een groter ioniserend vermogen heeft.
2. De bètastraling is vooral verantwoordelijk voor de beschadiging omdat deze een groter doordringend vermogen heeft.
3. De gammastraling is vooral verantwoordelijk voor de beschadiging omdat deze een groter ioniserend vermogen heeft.
4. De gammastraling is vooral verantwoordelijk voor de beschadiging omdat deze een groter doordringend vermogen heeft.
5. Bètastraling en gammastraling zijn in gelijke mate verantwoordelijk voor de beschadiging.

1p **5** Welke van de volgende beweringen is juist? Noteer het nummer.

Dateren met Rb en Sr

Tijdens de maanmissies in de jaren 60 en 70 van de vorige eeuw zijn stenen van de maan meegenomen naar de aarde. Zie figuur 1. Deze stenen zijn tijdens de vorming van de maan ontstaan door het stollen van magma. Tijdens het stollen zijn diverse soorten isotopen ingesloten in de steen, waaronder de instabiele isotoop Rb-87.



Figuur 1

Rb-87 vervalt tot het stabiele Sr-87. Bij deze vervalreactie wordt een deeltje uitgezonden.

- 1p 6 Welk deeltje komt bij de vervalreactie vrij?
- A elektron
 - B neutron
 - C proton
 - D α -deeltje

Dankzij deze vervalreactie is het voor een onderzoeker mogelijk om de leeftijd van één van deze stenen te bepalen.

Hiervoor moet eerst de halveringstijd van Rb-87 bekend zijn.

De halveringstijd van Rb-87 is groter dan de ouderdom van de aarde zodat de activiteit van Rb-87 tijdens een mensenleven bijna constant is.

Om toch de halveringstijd van Rb-87 te kunnen bepalen, wordt gebruikgemaakt van de formule:

$$A = \frac{0,693 N}{t_{\frac{1}{2}}}$$

Hierin is:

- A de activiteit in Bq,
- N het aantal instabiele kernen en
- $t_{\frac{1}{2}}$ de halveringstijd in s.

De onderzoeker bepaalt van 1,0 mg Rb-87 de activiteit. Deze is 3,09 Bq. De onderzoeker vindt vervolgens een halveringstijd van $4,9 \cdot 10^{10}$ jaar.

4p **7** Toon dat aan met een berekening.

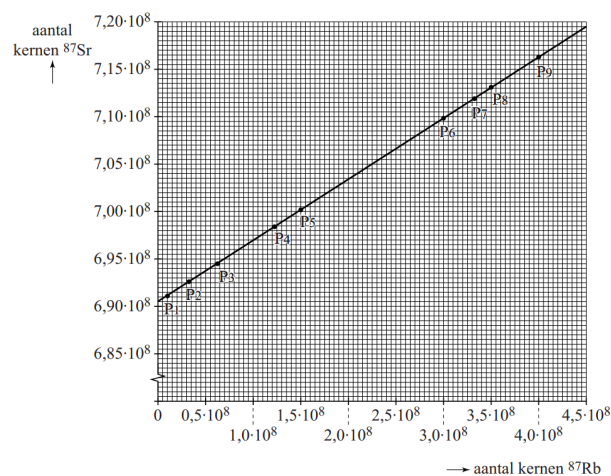
Voor de leeftijdsbepaling zaagt de onderzoeker de steen in negen even grote stukken.

Van ieder stuk steen wordt het volgende bepaald:

- het aantal instabiele Rb-87 kernen;
- het aantal stabiele Sr-87 kernen (het vervalproduct van Rb-87).

Ondanks dat de stukken steen hetzelfde volume hebben, blijkt het aantal Rb-87 en Sr-87 kernen niet in ieder stuk hetzelfde te zijn. De verdeling van de kernen door de steen was dus niet overal gelijk.

Voor ieder stuk steen P_1 tot en met P_9 is in een diagram het aantal kernen Sr-87 uitgezet tegen het aantal kernen Rb-87. Zie figuur 2.



Figuur 2

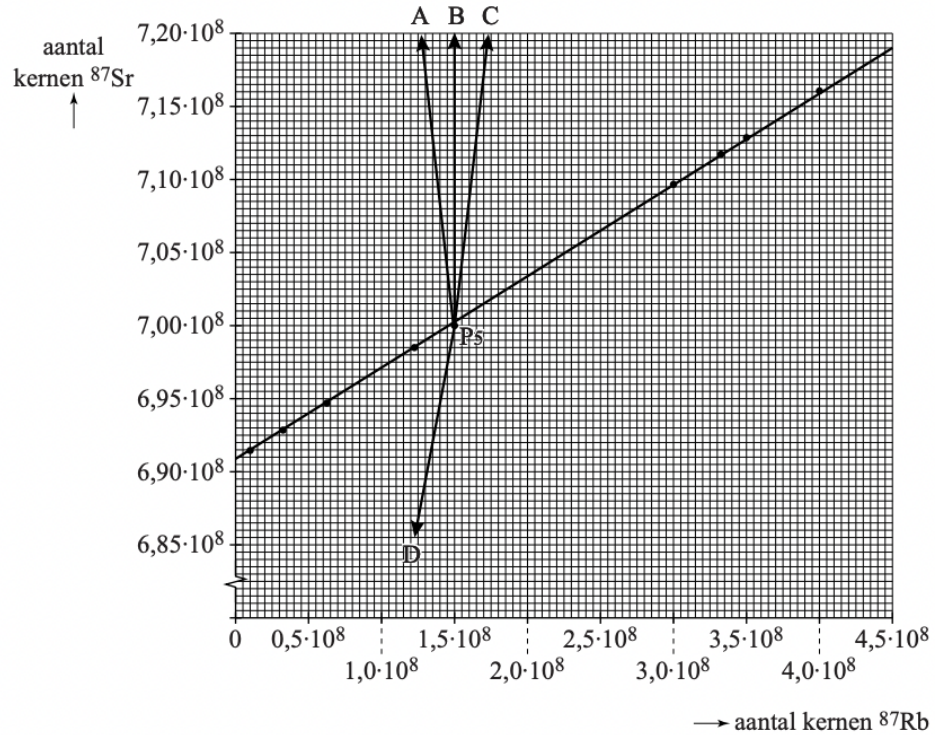
Met behulp van de steilheid van de lijn in figuur 2 kan de onderzoeker de leeftijd t van de hele steen bepalen. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de formule:

$$\text{steilheid} = \frac{0,693 \cdot t}{t_{\frac{1}{2}}}.$$

De halveringstijd is $4,9 \cdot 10^{10}$ jaar.

3p **8** Bepaal de leeftijd van de steen.

Naarmate de steen ouder wordt, vervallen er meer kernen. De plaats van meetpunt P_5 schuift daardoor op in het diagram. In figuur 3 staan vier mogelijke verplaatsingen van meetpunt P_5 in het diagram.



Figuur 3

- 1p **9** Welke pijl geeft de juiste verplaatsing aan van punt P_5 tijdens het verouderen van de steen?

Kernafval

In een kerncentrale wordt elektrische energie opgewekt door uraniumkernen te splijten. Als een uraniumkern wordt beschoten met neutronen, splitst de uraniumkern in andere atoomkernen en neutronen. De warmte die bij deze reactie ontstaat, wordt gebruikt om elektrische energie op de wekken.

Een voorbeeld van een splijtingsreactie is het splijten van uranium-235 in barium, een andere atoomkern en neutronen. Op de uitwerkbijlage staat deze splijtingsreactie deels weergegeven.

- 3p **10** Maak de reactievergelijking op de uitwerkbijlage compleet.

In een kerncentrale wordt een mengsel van de isotopen uranium-235 en uranium-238 gebruikt.

- 1p **11** Waarin verschillen de isotopen U-235 en U-238?
- A** in aantal protonen
 - B** in aantal neutronen
 - C** in aantal elektronen
 - D** in aantal protonen en aantal elektronen

Als een neutron door U-238 wordt ingevangen, treedt er geen kernsplijting op. Er ontstaat dan U-239 dat in twee stappen vervalst tot Pu-239.

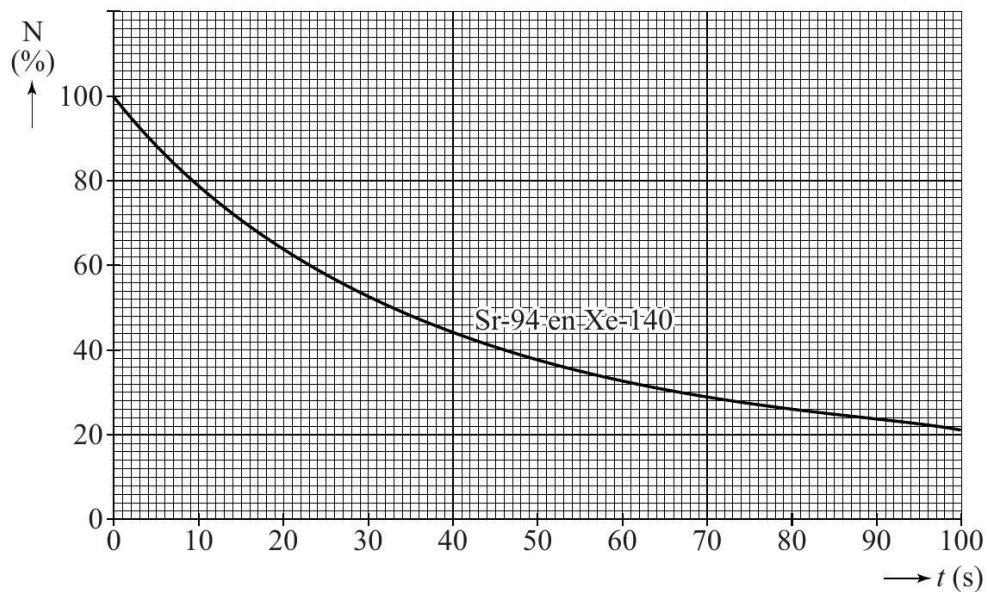
- 2p **12** Leg uit of U-239 een α - of een β -straler is.

Na verloop van tijd is een deel van het U-235 gespleten en is de hoeveelheid ^{235}U in de splijtstof te laag om nog te gebruiken. De splijtstof wordt dan uit de reactor verwijderd. In onderstaande figuur is te zien waaruit de splijtstof dan nog bestaat.

| soort | massapercentage |
|---------------------|-----------------|
| resterend uranium | 95,4 |
| splijtingsproducten | 3,5 |
| plutonium-239 | 1,0 |
| overige | 0,1 |

Figuur 4

De splijtingsproducten bestaan vooral uit de kortlevende isotopen Sr-94 en Xe-140. Het verval van een bepaalde hoeveelheid van een mengsel van deze splijtingsproducten staat in figuur 5 weergegeven.



Figuur 5

Iemand beweert dat dit mengsel van isotopen een constante halveringstijd heeft.

3p **13** Leg met behulp van figuur 5 uit of deze bewering juist of onjuist is.

Omdat plutonium-239 een lange halveringstijd heeft, wordt er onderzoek gedaan naar het (her)gebruiken of verminderen van deze stof. Plutonium kan opnieuw worden gebruikt als splijtstof in kerncentrales, maar plutonium kan ook gebruikt worden voor het maken van kernwapens. Daarom wil men de wereldvoorraad Pu-239 verminderen. Op dit moment is de wereldvoorraad Pu-239 ongeveer 100 ton. Deze voorraad past makkelijk in een klaslokaal.

Pu-239 heeft een dichtheid van $19,8 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$.

- 2p **14** Leg met behulp van een schatting uit dat 100 ton plutonium inderdaad in een klaslokaal past.

Stralingsdetectie

In een ziekenhuis wordt vaak gewerkt met radioactieve isotopen. Medewerkers moeten daarbij goed in de gaten houden dat ze geen te grote stralingsdosis oplopen. Hiervoor bestaan verschillende vormen van stralingsdetectie.

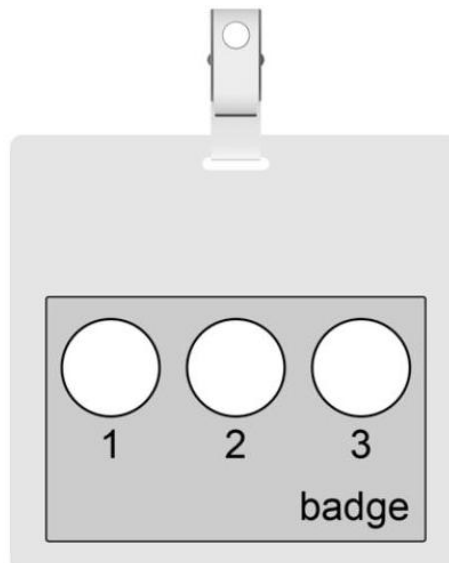
Een van de isotopen waarmee wordt gewerkt is kobalt-60. Hierboven staat een (N, Z) -diagram. Hierin is Z het aantal protonen en N het aantal neutronen in een kern. Kobalt-60 zendt β - en γ -straling uit.

- 4p **15** Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef de vergelijking van de vervalreactie van kobalt-60.
 - Geef in het diagram deze reactie in het (N, Z) -diagram aan met een pijl.

Bij een bepaalde methode van stralingsdetectie wordt gebruikt gemaakt van een zogenaamde badge. Deze wordt door een medewerker aan de kleding bevestigd. Zie figuur 6.



Figuur 6



Figuur 7

Een badge registreert hoeveel ioniserende straling er op valt. In een bepaalde badge zit filmmateriaal dat steeds donkerder wordt naarmate er meer ioniserende straling op valt. Vóór de film zijn drie verschillende 'vensters' naast elkaar aangebracht. Zie figuur 7. Deze vensters zijn ieder van een ander materiaal gemaakt:

1. mica
2. karton
3. lood

De badge wordt geraakt door γ -straling afkomstig van een bepaalde bron. Lood heeft een halveringsdikte van 0,061 cm voor deze fotonen. Karton heeft een grotere halveringsdikte. Het karton en het lood hebben elk een dikte van 0,183 cm.

3p **16** Beantwoord de volgende vragen:

- Bereken het percentage van de γ -straling dat door het lood wordt doorgelaten.
- Leg uit of het percentage doorgelaten γ -straling bij het karton groter is dan, kleiner is dan of even groot is als bij het lood.

Na verloop van tijd wordt de badge geopend en is uit de kleur van het filmmateriaal af te leiden welke soort straling de badge heeft geraakt.

Gegeven is dat α -straling alleen door mica heen gaat en β -straling zowel door mica als karton.

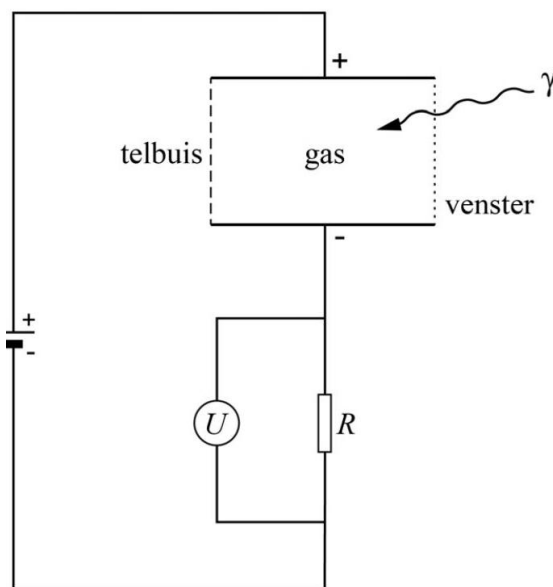
Op de uitwerkbijlage staan twee badges die ieder gedurende langere tijd door één soort straling geraakt zijn.

1p **17** Kies voor iedere badge de soort straling die de film op deze manier heeft gekleurd.

De badge wordt tegenwoordig vaak vervangen door een modernere stralingsdetector, de draagbare geiger-müllerteller (GMT). Zie figuur 8.



Figuur 8



Figuur 9

Een GMT bevat een serieschakeling van een telbuis en een weerstand R . Zie figuur 9. De telbuis is gevuld met een niet-geleidend gas. Over de telbuis staat een spanning. Zolang er geen ioniserende straling op de telbuis valt, werkt deze telbuis als een open schakelaar in de serieschakeling. Wanneer ioniserende straling door het venster valt en het gas raakt, wordt een deel van de gasatomen gesplitst in ionen en elektronen.

Op de uitwerkbijlage staat een tabel over de beweging van de deeltjes in de telbuis.

- 2p **18** Geef met een kruisje in iedere rij aan in welke richting de deeltjes bewegen.

Door de ioniserende straling werkt de telbuis even als een gesloten schakelaar. Hierdoor verandert de spanning U over weerstand R . Zie figuur 9. Dit wordt door een teller geregistreerd.

- 2p **19** Leg uit wat er gebeurt met de spanning U over weerstand R zodra de telbuis geraakt wordt door ioniserende straling.

Onderzoek van bot met calcium-47

In deze opgave bekijken we een patiënt waarbij de botten in de benen worden onderzocht. Hierbij gebruikt men calcium omdat dit gemakkelijk door het lichaam opgenomen en getransporteerd wordt naar de botten. De patiënt krijgt een hoeveelheid van de instabiele isotoop calcium-47 toegediend, die bij verval een bèta-min-deeltje en gammastraling uitzendt:

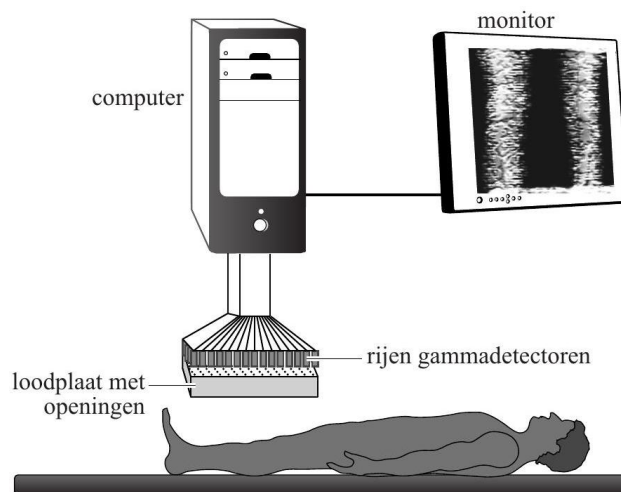


De gammastraling kan buiten het lichaam gedetecteerd worden. De arts kan zo zien of er met de botten iets bijzonders aan de hand is.

Bij het begin van het onderzoek krijgt de patiënt een hoeveelheid calcium-47 toegediend met een activiteit van 2,5 MBq.

- 4p **20** Bereken de massa in kg van het calcium-47.

De benen van de patiënt worden onder een apparaat gelegd dat gammastraling meet. Zie figuur 10 .



Figuur 10

In het apparaat zijn honderden gammadetectoren in rijen naast elkaar geplaatst. Onder de gammadetectoren bevindt zich een dikke loden plaat. Onder elke gammadetector zit in de plaat een smal gat

- 1p **21** Elke gammadetector registreert alleen de straling die uit het deel van het been recht onder de detector komt.
Waarom is het gewenst dat die alleen van recht onder komt?

Voor het maken van het beeld van het bot worden de gegevens door de computer verwerkt.

Voor verschillende delen van de benen verschilt de absorptie van gammastraling in het spierweefsel en in de lucht tussen de detector en het been.

Om de metingen van het been te kunnen vergelijken, moet voor die absorptie gecorrigeerd worden. Daarvoor vermenigvuldigt de computer de meetwaarde van elke detector met een correctiefactor. Als er geen absorptie optreedt, levert dat een correctiefactor 1

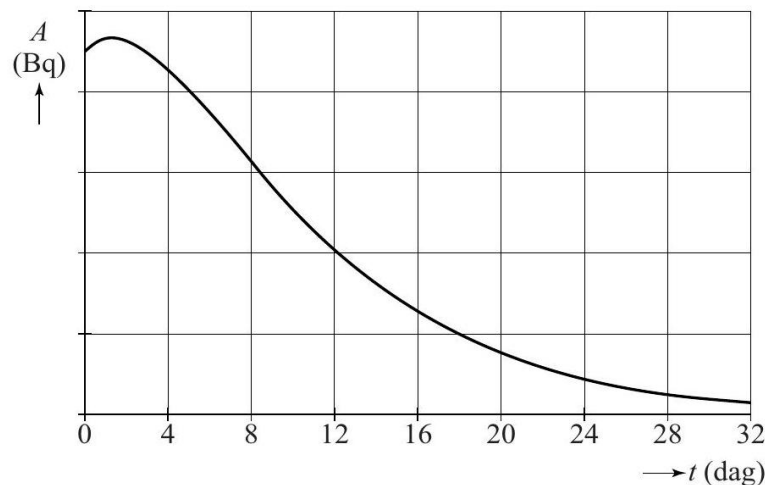
- 5p **22** Neem aan dat zich tussen een gammadetector en het bot 10 cm lucht en 4,5 cm spierweefsel bevindt. De absorptie in spierweefsel is gelijk aan die in water.

Ga uit van een gamma-foton met een energie van 1,0 MeV.

Bereken de grootte van de correctiefactor voor die detector.

Een nadeel van deze onderzoeksmethode is de stralingsbelasting van het bot. Deze ontstaat voornamelijk door absorptie van bèta-min-deeltjes. Deze zijn niet alleen afkomstig van calcium-47 maar ook van scandium-47 (dat ontstaat bij het verval van calcium-47).

Figuur 11 toont het verloop van de gezamenlijke activiteit van beide isotopen in het bot van het bovenbeen.



Figuur 11

- 3p **23** Beredeneer aan de hand van het verloop van figuur 11 of de halveringstijd van scandium-47 groter of kleiner is dan de halveringstijd van calcium-47.