

Noteer niet uitsluitend de antwoorden, maar ook je redeneringen (in correct Nederlands) en de formules die je gebruikt hebt! Maak daar waar nodig een schets van de situatie. Maak de opgaven in de juiste volgorde en werk netjes.

Opgave 1

Als splijtstof in een kernreactor wordt uranium-235 gebruikt. De kern hiervan splijt als er een neutron wordt ingevangen. Hierbij ontstaan twee nieuwe kernen en een aantal nieuwe neutronen. Bij een bepaalde splijting ontstaan twee nieuwe neutronen en is barium-147 een van de splijtingsproducten.

a) Geef de reactievergelijking van deze splijting.

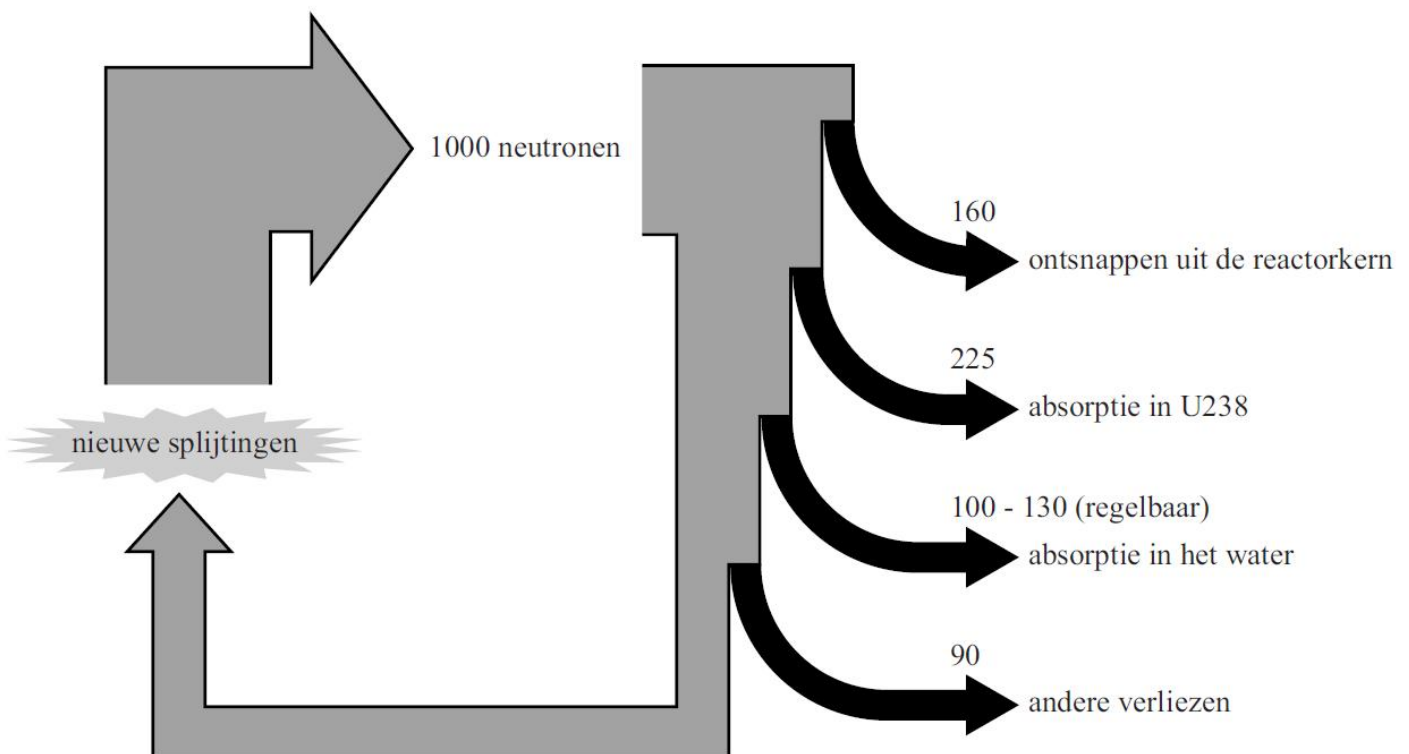
De totale massa van de splijtingsproducten is kleiner dan de totale massa vóór de splijting. Gemiddeld bedraagt dit massaverschil $0,21 \text{ u}$ per reactie.

Het gemiddelde vermogen van de kernenergie in een kerncentrale bedraagt $1,8 \text{ GW}$.

b) **Bereken** hoeveel kilogram uranium-235 hierbij per jaar wordt verbruikt.

Gemiddeld ontstaan er per splijting $2,50$ nieuwe neutronen.

Een kernreactor bevat regelstaven om in noodgevallen snel neutronen te kunnen absorberen. Voor het regelen van de kettingreactie gebruikt men niet de regelstaven maar water met daarin opgelost boorzuur. In onderstaande afbeelding is dit schematisch weergegeven. Om het proces inzichtelijk te maken is uitgegaan van 1000 nieuwe neutronen.



Deze 1000 nieuwe neutronen zijn lang niet allemaal beschikbaar om een nieuwe splijting te veroorzaken. De getallen in het schema geven aan welke verliezen er optreden.

Het neutronenverlies in het water wordt binnen de aangegeven grenzen geregeld door meer of minder boorzuur aan het water toe te voegen. Het element boor is namelijk een sterke neutronenabsorbeerder.

c) **Bepaal** de waarde van de 'absorptie in het water' om de reactor in kritische toestand te laten werken.

Het water in de kernreactor vervult onder andere de functie van moderator. Een moderator is nodig om neutronen die een zeer grote energie hebben af te remmen, omdat alleen langzame neutronen worden geabsorbeerd in uranium-235. Het afremmen van de neutronen gebeurt door botsingen met de atoomkernen in de moderator.

Op de uitwerkbijlage staat een tabel met een aantal eigenschappen van water.

d) Geef op de uitwerkbijlage met behulp van kruisjes aan welke eigenschappen water geschikt maken voor de functie van moderator en welke eigenschappen hiervoor niet van belang zijn.

eigenschap van water	maakt water geschikt voor de functie van moderator	niet van belang voor de functie van moderator
Water heeft een vrij kleine dichtheid.		
In water (H ₂ O) zitten waterstofkernen.		
In water (H ₂ O) zitten zuurstofkernen.		
(Zuiver) water is een slechte geleider voor elektrische stroom.		
Water is een slechte neutronenabsorbeerder.		
Water is doorzichtig voor zichtbaar licht.		

Opgave 3

Om schildklieraandoeningen te behandelen wordt gebruik gemaakt van capsules met natriumjodide. In zo'n capsule bevindt zich het joodisotoop I-131. Dit isotoop hoopt zich na inname van de capsule op in de schildklier.

I-131 vervalt door β -verval naar een aangeslagen toestand van Xe-131. Het aangeslagen Xe-131 gaat vervolgens in één stap over naar de grondtoestand waarbij dan één foton met een energie van 364 keV wordt uitgezonden.



a) Geef de reactievergelijking voor het verval van I-131 naar de grondtoestand van Xe-131.

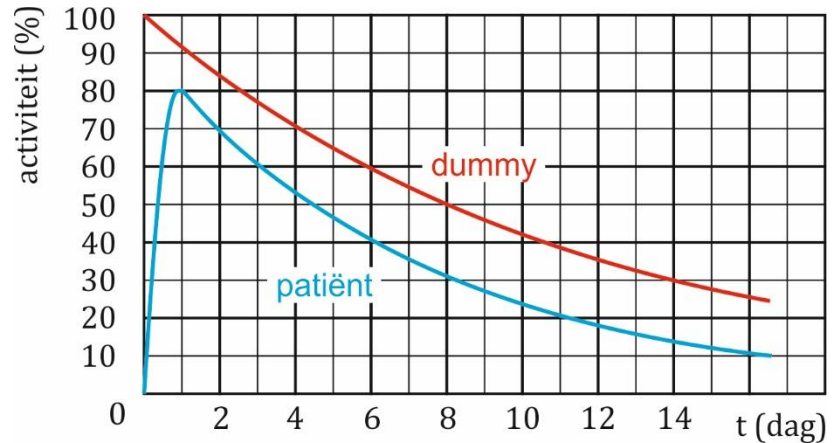
b) **Leg uit** dat de maximale kinetische energie van de bètadeeltjes 0,605 MeV bedraagt. De atoommassa van Xe-131 bedraagt 130,90508 u.

De voor de behandeling benodigde activiteit wordt van tevoren bepaald door middel van een proef. Voor elke patiënt wordt een gepersonaliseerde dummy gemaakt. De patiënt neemt een capsule met een activiteit van 2,0 MBq in. Gelijktijdig wordt een zelfde activiteit als zich in de capsule bevindt in de dummy ter plaatse van de schildklier ingebracht. Bij de hals van de patiënt en de hals van de dummy wordt vervolgens de activiteit als functie van de tijd gemeten.

In nevenstaand diagram staat zo'n meting weergegeven.

Tussen de twee grafieken in nevenstaand diagram zijn twee opvallende verschillen.

- c) Noem deze twee verschillen en **leg uit** waardoor ze ontstaan.
 d) **Bepaal** de halveringstijd van I-131.



- e) **Bepaal/Bereken** het aantal kernen I-131 dat de patiënt heeft krijgen toegediend.

Bij een schildklierbehandeling is een grote geabsorbeerde dosis ter plaatse van de schildklier nodig. In een bepaald behandelingsplan wordt een dosis van 200 Gy in een volume van 60 mL schildklier voorgeschreven.

- f) **Schat** hoeveel energie de schild in dit volume absorbeert.

Na zo'n behandeling wordt een patiënt ter bescherming van de personen in hun directe omgeving pas dan uit het ziekenhuis ontslagen, als de activiteit zover is gedaald, dat de equivalente dosis op een afstand van 2,0 m, per uur, niet meer dan 3,5 μ Sv bedraagt.

- g) **Leg uit** of deze maatregel redelijk is. Betrek in jouw antwoord de wettelijke normen.