

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. Let op het juiste aantal significante cijfers en vergeet de eenheden niet! Maak de opgaven in de juiste volgorde en werk netjes.

**Met potlood geschreven tekst wordt niet gecorrigeerd!  
Het gebruik van Tipp-Ex is niet toegestaan.**

### Opgave 1

Elke winter opnieuw is het bij aanhoudend vriesweer de vraag of er dit jaar een Elfstedentocht kan worden gehouden. Je gaat in deze opgave onderzoeken hoe lang het duurt voordat de waterlaag van 1,0 cm direct onder een ijslaag bevroest.

De dikte van het ijs is een indicatie voor de begaanbaarheid van het ijs. Het hangt er uiteraard wel vanaf hoeveel mensen op het ijs gaan. Een enkele schaatser zou aan 4 à 5 cm genoeg hebben, maar voor een Elfstedentocht is een ijsdikte van 12 à 15 cm vereist.

In de winter ligt er op de Friese sloten en plassen een ijslaag van 8,0 cm. De temperatuur van de lucht boven het ijs is  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  en de temperatuur van de water laag met een dikte van 1,0 cm direct onder het ijs is  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

De warmtestroom door het ijs zorgt ervoor dat het waterlaagje van  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  onder het ijs gaat bevriezen.

a) **Bereken** de warmtestroom door  $1,0\text{ m}^2$  ijs.

Om  $1,0\text{ kg}$  water van  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  te laten bevriezen moet  $334 \cdot 10^3\text{ J}$  aan het water worden onttrokken.

b) **Bereken** hoe lang het minimaal duurt voordat de ijslaag van 8,0 cm is aangegroeid met 1,0 cm ijs.

c) **Leg uit** of de toename van de ijsdikte van 8,0 cm naar 9,0 cm even lang duurt als de toename van de ijsdikte van 9,0 cm naar 10 cm.



### Opgave 2

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.

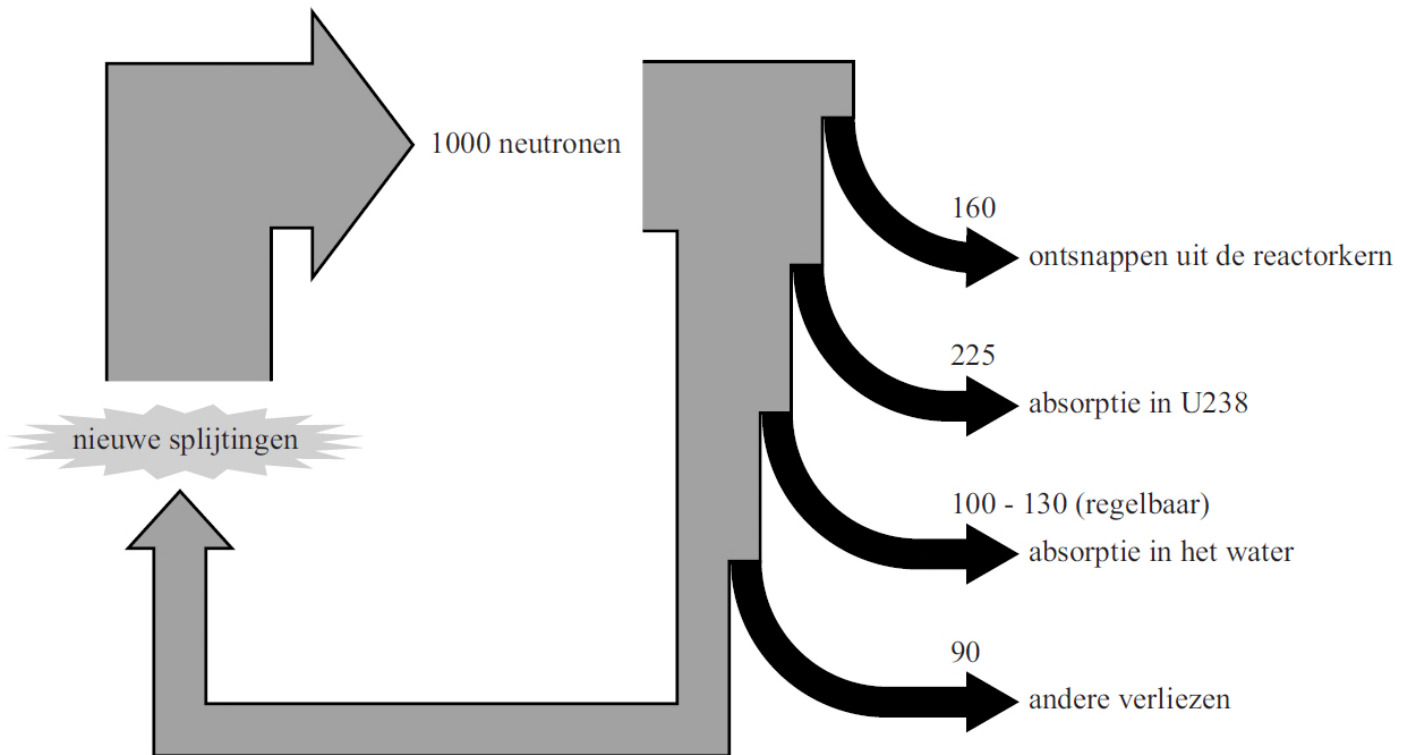
a) Geef de reactievergelijking van deze splijting.

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 <sub>2</sub> O) zitten waterstofkernen.             |  |   |
| In water (H <sub>2</sub> 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

Lees het volgende artikel.

#### Nanogenerator wekt dodende straling op in een kankercel

Amerikaanse onderzoekers zijn er in geslaagd kankercellen te doden door er een enkel atoom van de radioactieve isotoop actinium-225 binnen te smokkelen.

Omdat veel tumorbehandelingen ook gezond weefsel aantasten, is er grote belangstelling voor methoden die gezond weefsel ontzien. Er is een “voertuig” nodig dat de stralingsbron in de kankercel aflevert. Daartoe wordt het radioactieve atoom actinium-225 aan een antilichaam gekoppeld, dat via binding aan een bepaald eiwit een tumorcel kan binnendringen.

De onderzoekers noemen de combinatie eiwit + antilichaam + actiniumatoom een nanogenerator. Zij zien de nanogenerator als een moleculaire machine.

naar NRC Handelsblad, 17 november 2001

- Verklaar het voorvoegsel “nano” in het woord “nanogenerator”.
- Leg uit** waarom actinium-225 voor het beschreven doel een geschikte isotoop is. Betrek in je antwoord het soort straling dat wordt uitgezonden en de halveringstijd. Ook het vervalproduct van actinium-225 is niet stabiel. Tot de vervalproducten behoren onder andere de  $\alpha$ -stralers francium-221 en astat-217. Zie de uitwerkbijlage.
- Ga na welke stabiele isotoop uiteindelijk ontstaat. Maak hiertoe het vervalschema op de uitwerkbijlage af; vul op alle stippellijnen het juiste gegeven in. De  $\alpha$ -straling van alle vervalproducten zorgt samen met die van het actinium voor het vernietigen van de tumorcel. In een tumorcel wordt door het antilichaam één actiniumatoom binnengesmokkeld.

Veronderstel dat de massa van de bestraalde cel 0,30  $\mu\text{g}$  bedraagt en dat alle  $\alpha$ -straling door deze cel geabsorbeerd wordt. De stralingsweegfactor voor deze  $\alpha$ -straling bedraagt 20.

d) **Bereken** de totale equivalente dosis die deze cel ontvangt ten gevolge van de  $\alpha$ -straling.

|                         | isotoop                |   | straling  | halveringstijd      | energie (MeV) |
|-------------------------|------------------------|---|-----------|---------------------|---------------|
|                         | $^{225}_{89}\text{Ac}$ |   |           |                     |               |
|                         | ↓                      | → | $\alpha$  | 10,0 d              | 5,8           |
|                         | $^{221}_{87}\text{Fr}$ |   |           |                     |               |
|                         | ↓                      | → | $\alpha$  | 4,8 min             | 6,3           |
|                         | $^{217}_{85}\text{At}$ |   |           |                     |               |
|                         | ↓                      | → | $\alpha$  | $2 \cdot 10^{-3}$ s | .....         |
|                         | $^{213}_{83}\text{Bi}$ |   |           |                     |               |
| $(\alpha \leftarrow)^*$ | ↓                      | → | $\beta^-$ | 46,5 min            | .....         |
| .....                   |                        |   |           |                     |               |
|                         | ↓                      | → | .....     | .....               | .....         |
| .....                   |                        |   |           |                     |               |
|                         | ↓                      | → | .....     | .....               | .....         |
| .....                   |                        |   |           |                     |               |
|                         | .....                  |   | (stabiel) |                     |               |