
Formuleblad

Formules die bij het pilot-programma horen en die niet in Binas staan.

C Beweging en wisselwerking

$$F_{w,l} = \frac{1}{2} \rho c_w A v^2$$

$$E_{\text{chem}} = r_v V \quad E_{\text{chem}} = r_m m$$

$$\Sigma p_{\text{voor}} = \Sigma p_{\text{na}}$$

D Lading en veld

$$I = GU$$

E Straling en materie

$$\frac{P}{A} = \sigma T^4 \quad L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \quad v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} c$$

$$D = \frac{E}{m} \quad H = QD$$

Opgave 1 ‘Indoor Skydive’

Lees onderstaand artikel.

Iedereen kan vliegen!

Bij Roosendaal bevindt zich ‘Indoor Skydive’. In deze attractie ervaar je het gevoel van een ‘vrije val’, zonder uit een vliegtuig te springen. Je zweeft in een windtunnel in een verticale luchtstroom die een snelheid van maximaal 240 km h^{-1} kan hebben. Door je armen en benen in een iets andere positie te brengen, kun je je in de tunnel omhoog of omlaag bewegen.



De snelheid van 240 km h^{-1} komt overeen met de snelheid die je bereikt als je vanaf een bepaalde hoogte valt, met verwaarlozing van de luchtweerstand.

3p 1 Bereken die hoogte.

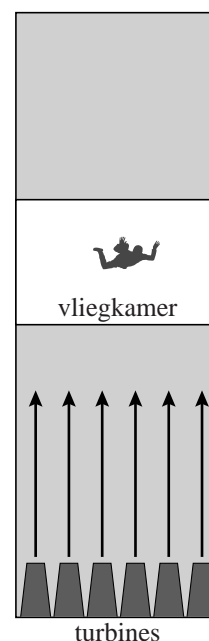
In figuur 1 staat de cilindrische toren van Indoor Skydive schematisch weergegeven. Onder in de toren bevinden zich de turbines. Dit zijn ventilatoren die de lucht omhoog blazen.

In tabel 1 staan een aantal gegevens van Indoor Skydive.

tabel 1

tunnelhoogte	23,5 m
doorsnede vliegkamer	$14,6 \text{ m}^2$
maximale lichtsnelheid	240 km h^{-1}
maximale luchtstroom	$3,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$
spanning over elke turbine	400 V
maximaal elektrisch vermogen van één turbine	0,50 MW
aantal turbines	12

figuur 1



- 2p **2** Toon aan dat de lichtsnelheid 240 km h^{-1} bedraagt als er sprake is van de maximale luchtstroom.

De gebruikte spanning is hoger dan de normale netspanning.

- 2p **3** Leg uit wat in deze situatie een groot voordeel is van deze hogere spanning.

De luchtstroom op de skydiver veroorzaakt een luchtweerstandskracht.

Een skydiver (massa 70 kg) houdt zijn lichaam zoveel mogelijk in de stand zoals schematisch weergegeven in figuur 2.

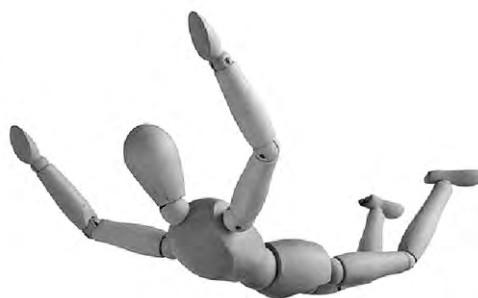
Hij maakt van zijn lichaam een soort kommetje.

In dat geval geldt: $C_w = 0,50$.

Een technicus van Indoor Skydive stelt de lichtsnelheid zó in dat de skydiver stil hangt.

- 4p **4** Bereken die lichtsnelheid. Maak daarvoor een schatting van de frontale oppervlakte van de skydiver.

figuur 2



Om in de vliegekamer te manoeuvreren kan de skydiver zijn armen en benen in een andere stand brengen.

Op een bepaald moment strekt de skydiver zijn benen uit, zoals weergegeven in figuur 3.

- 2p **5** Leg uit of de skydiver dan omhoog of omlaag zal bewegen.

figuur 3



Opgave 2 WMAP

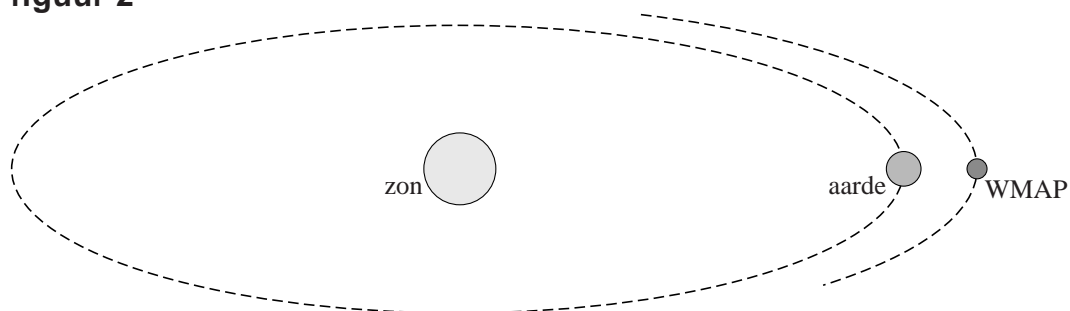
In 2001 werd de satelliet genaamd WMAP gelanceerd die tot taak had nauwkeurige metingen van de kosmische achtergrondstraling te verrichten (WMAP = Wilkinson Microwave Anisotropy Probe). Zie figuur 1.

figuur 1



WMAP is gestationeerd in het zogenoemde Lagrangepunt 2; dat punt bevindt zich aan de zijde van de aarde die niet door de zon verlicht wordt op 1,5 miljoen kilometer afstand van de aarde. Zie figuur 2. Deze figuur is niet op schaal.

figuur 2



Een satelliet die zich in het Lagrangepunt 2 bevindt, gedraagt zich niet als een 'kunstmaan' die rond de aarde cirkelt, maar draait met de aarde mee om de zon. De zon, de aarde en WMAP bevinden zich steeds op één lijn. Om dit meedraaien te bereiken moet op WMAP (massa 840 kg) een resulterende kracht werken ter grootte van 5,0 N.

4p 6 Toon dat aan.

WMAP ondervindt een gravitatiekracht van de aarde en een gravitatiekracht van de zon. Die krachten leveren samen de resulterende kracht van 5,0 N.

3p 7 Ga na welke van de twee gravitatiekrachten hieraan de grootste bijdrage levert.

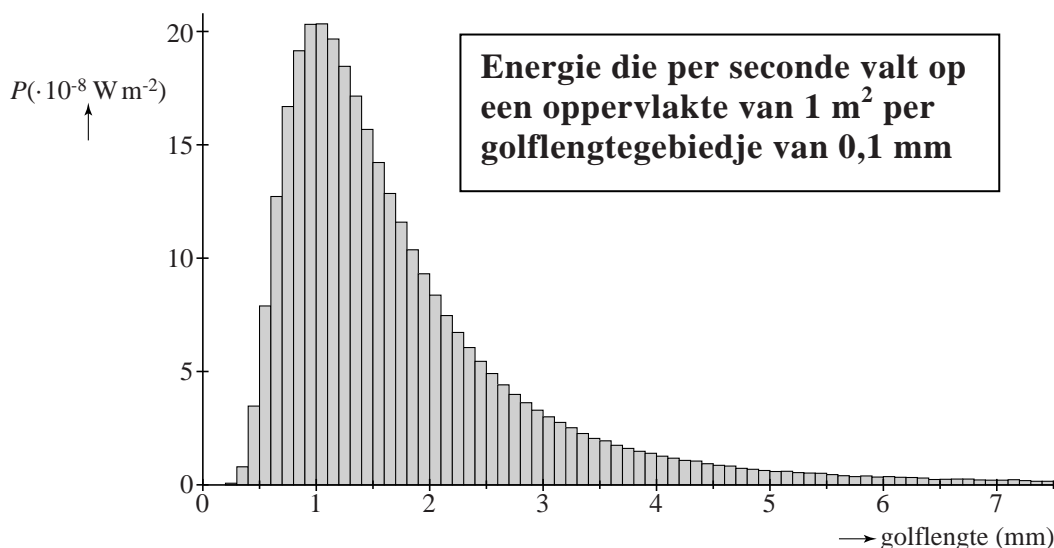
WMAP heeft een detector die de intensiteit van elektromagnetische straling met golflengtes in het mm-gebied meet. Bij de metingen is het belangrijk dat de gemeten straling echt vanuit de kosmische ruimte komt en niet van bronnen zoals de zon.

3p 8 Ga na of WMAP volledig in de schaduw van de aarde zit of dat er toch straling van de zon rechtstreeks WMAP bereikt.

Neem aan dat WMAP zich op de lijn door de middelpunten van de aarde en de zon bevindt.

De metingen van WMAP worden gecorrigeerd voor de invloed van alle storende bronnen, zodat alleen de kosmische achtergrondstraling overblijft. Uit de gecorrigeerde metingen is figuur 3 afgeleid.

figuur 3



Hieronder staan vier schattingen van het aantal fotonen met een golflengte tussen 1,0 en 2,0 mm dat per seconde een oppervlakte van 1,0 m² treft.

- a $1 \cdot 10^{10}$ b $1 \cdot 10^{13}$ c $1 \cdot 10^{16}$ d $1 \cdot 10^{19}$

3p **9** Welke schatting is de beste? Motiveer je keuze met een berekening.

Bij de stralingskromme van figuur 3 hoort een temperatuur van 2,6 K.

2p **10** Toon dat aan.

De gemeten achtergrondstraling heeft vanuit alle richtingen van het heelal hetzelfde spectrum en dezelfde intensiteit. Dit duidt erop dat de straling is ontstaan vóórdat de sterren gevormd werden en elektronen werden gebonden in atomen. De straling is dus afkomstig van het vroege heelal, toen het ‘doorzichtig’ werd bij een temperatuur van zo’n 3000 K.

Vrijwel alle fotonen ‘van toen’ zijn nu nog steeds onderweg, alleen is hun ‘kleur’ veranderd in ver infrarood. Er is dus sprake van ‘roodverschuiving’. Hieronder staan twee verklaringen voor deze roodverschuiving.

- Dopplerverschuiving ten gevolge van de radiale snelheid van de bron.
- Kosmologische roodverschuiving vanwege de uitdijning van het heelal.

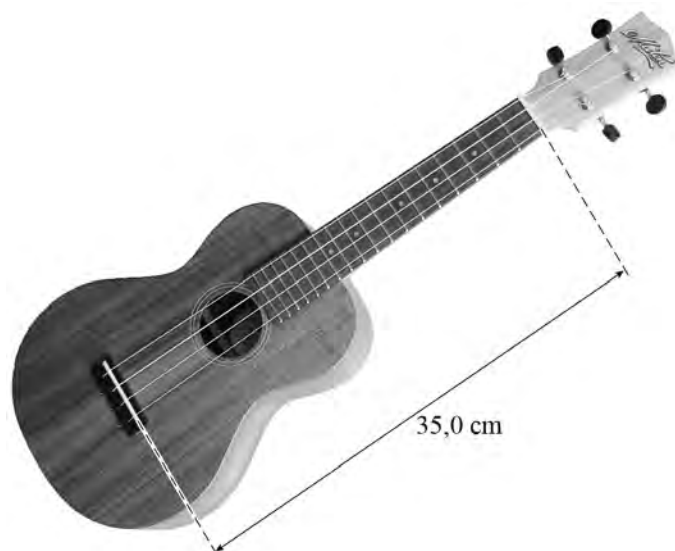
Dopplerverschuiving kan niet de verklaring zijn omdat daaruit een snelheid volgt die groter is dan de lichtsnelheid.

3p **11** Toon dat aan.

Opgave 3 Ukelele

Een ukelele is een klein formaat gitaar met vier snaren. Zie figuur 1. Daarin is aangegeven tussen welke twee punten de snaren trillen. Een ukelele kan op verschillende manieren gestemd worden. Een van deze stemmingen is zoals weergegeven in tabel 1.

figuur 1



tabel 1

snaar	grondtoon	f (Hz)
1	G	392
2	C	262
3	E	330
4	A	440

- 2p 12 Hieruit blijkt dat de golfsnelheid in de snaren van de ukelele niet gelijk is. Leg dat uit.

Als snaar 3 en 4 tegelijk worden aangetokkeld, is er een klank te horen die als prettig ervaren wordt. We zeggen ook wel dat deze twee snaren ‘stemmen’. Een verklaring hiervoor is dat deze snaren een of meer gemeenschappelijke boventonen hebben.

- 2p 13 Bepaal de frequentie van de laagste gemeenschappelijke boventoon van de snaren 3 en 4.

De snaren hebben een verschillende dikte, en zijn allemaal gemaakt van nylon. De lengte van een snaar op een ukelele bedraagt 35,0 cm. Zie figuur 1.

Camiel vraagt zich af hoe groot de spankracht in een snaar van de ukelele is. Om hier achter te komen, bevestigt hij een krachtmeter aan het midden van een snaar. Als hij de snaar over een afstand van 1,0 cm omhoogtrekt, geeft de krachtmeter 3,8 N aan. Deze situatie is schematisch weergegeven op de uitwerkbijlage.

Deze figuur is niet op schaal. Als deze figuur op schaal zou zijn, zou een constructie geen nauwkeurige resultaten opleveren.

- 5p 14 Voer de volgende opdrachten uit:
- **Teken** in de figuur op de uitwerkbijlage de vectorpijl(en) van de spankracht in de snaar op het punt waar de krachtmeter aangrijpt.
 - **Bereken** vervolgens de spankracht in deze situatie.

Camiel herhaalt zijn meting waarbij hij de snaar steeds verder optrekt en berekent iedere keer de spankracht. Van die resultaten maakt hij een grafiek waarin hij de hoek van de snaar met de horizontaal uitzet tegen de spankracht. Deze grafiek staat weergegeven op de uitwerkbijlage.

- 3p 15 Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef de reden dat de grafiek niet door de oorsprong gaat.
 - Bepaal de spankracht in de snaar als er niet aan getrokken wordt.

In de literatuur ontdekt Camiel dat het verband tussen de spankracht en de golfsnelheid in een snaar kan worden weergegeven met behulp van:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}, \text{ met } \mu = \frac{m}{\ell} \quad (1)$$

Hierin is:

- v de golfsnelheid (in m s^{-1}),
- F de spankracht (in N),
- μ de massa per lengte-eenheid (in kg m^{-1}),
- m de massa (in kg),
- ℓ de lengte van de snaar (in m).

Camiel beseft dat de frequenties van de snaren bekend zijn. Hij kan de spankracht in een snaar dan berekenen met behulp van:

$$F = \frac{\lambda^2 f^2 \pi d^2 \rho}{4} \quad (2)$$

Hierin is:

- λ de golflengte (in m),
- f de frequentie (in Hz),
- d de dikte van de snaar (in m),
- ρ de dichtheid van het materiaal van de snaar (in kg m^{-3}).

- 3p 16 Leid formule (2) af uit formule (1) en formules in BINAS.

De dikte van snaar 1 bedraagt 0,65 mm. De ukelele is gestemd op de manier zoals weergegeven in tabel 1.

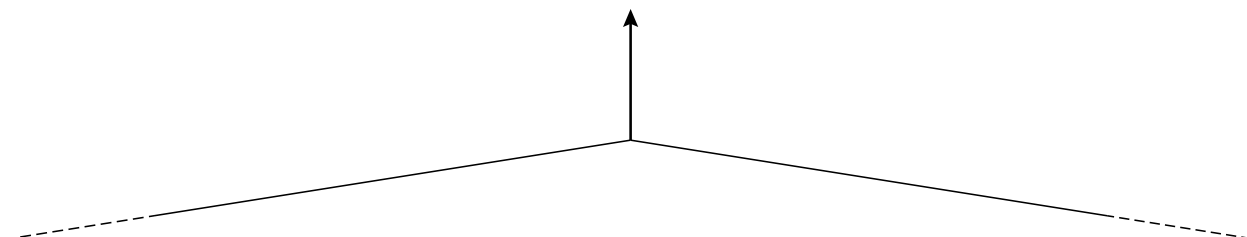
- 3p 17 Bepaal de spankracht in snaar 1 zoals die uit formule (2) volgt.

Snaar 3 (de 'E'-snaar) van de ukelele brengt dezelfde toon voort als de hoogste snaar van een klassieke gitaar. Zo'n snaar is ook gemaakt van nylon en even dik als de snaar van de ukelele, maar heeft een lengte van 64,5 cm. De spankracht in de twee snaren is niet gelijk.

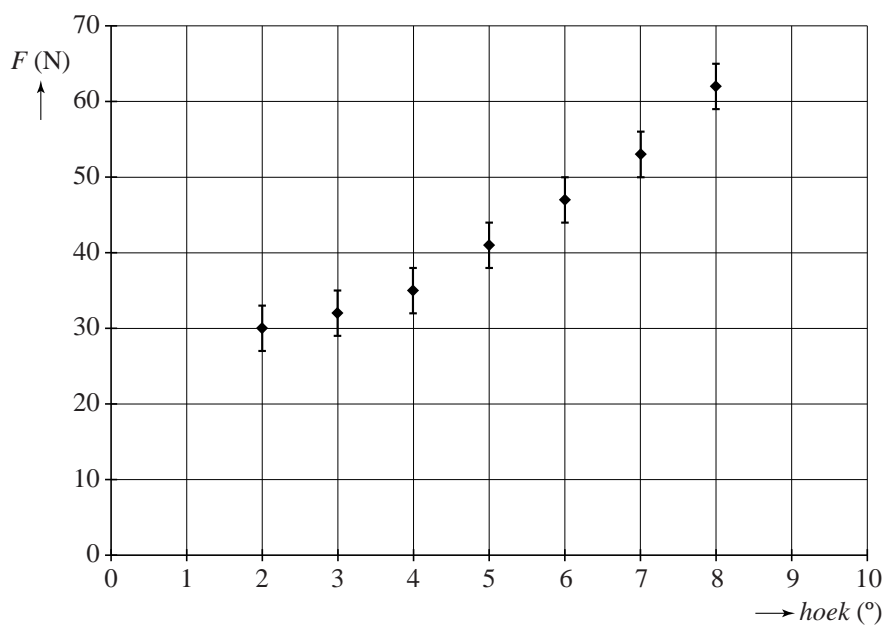
- 2p 18 Bepaal de verhouding van de spankrachten: $\frac{F_{\text{gitaar}}}{F_{\text{ukelele}}}$.

uitwerkbijlage

14



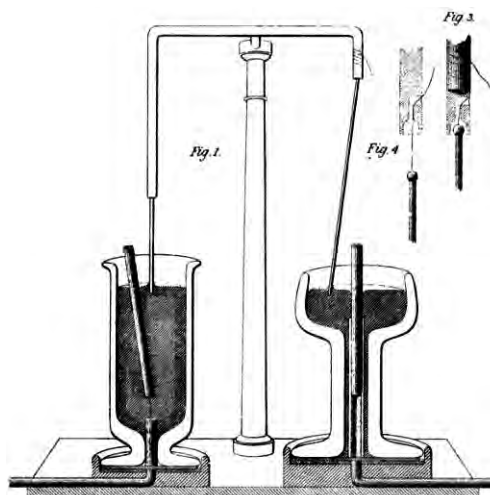
15



Opgave 4 Faradaymotor

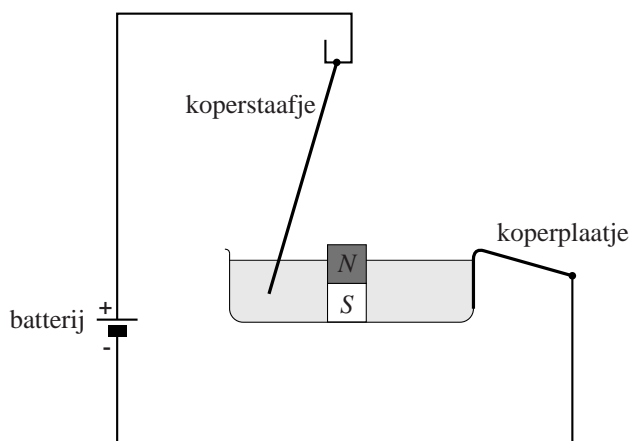
Lees onderstaand artikel.

Een van de eerste elektromotoren ooit werd ontwikkeld door Michael Faraday. In 1821 publiceerde hij zijn idee. In deze publicatie stond nevenstaande figuur. De opstelling bestaat uit twee bekers gevuld met kwik. In de rechter beker bevindt zich in het midden een magneet. In het kwik hangt een koperen staaf. Door een elektrische stroom te laten lopen door de opstelling (koperen staaf en kwik) beweegt de koperen staaf rondom de magneet. (In het linker gedeelte beweegt de magneet om de koperen staaf.)



Sanne wil met eenvoudige hulpmiddelen zelf een Faradaymotor maken als in het rechter gedeelte in de afbeelding hierboven. In figuur 1 is schematisch de opstelling weergegeven die Sanne maakt.

figuur 1



Midden in een glazen bakje legt ze een magneet. In het bakje giet ze water. Verder verbindt ze een 9,0 V-batterij via twee

koperdraden met een koperstaafje en een koperplaatje. De koperdraden hebben elk een diameter van 0,20 mm en een lengte van 30 cm. Het koperstaafje heeft een diameter van 1,0 mm en een lengte van 10 cm.

Sanne berekent dat de weerstand van het koperstaafje 2,2 mΩ is en beredeneert dat de weerstand van één koperdraad een factor 75 groter is dan de weerstand van het koperstaafje.

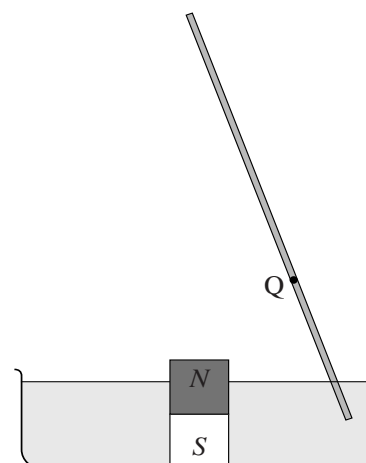
- 4p 19 Voer de berekening uit en geef de redenering van Sanne om te laten zien dat deze waarden juist zijn.

Sanne voegt een hoeveelheid zout toe aan het water. Het zoute water tussen het koperplaatje en het koperstaafje heeft een weerstand van $4,5 \Omega$. Het koperplaatje in de opstelling heeft een verwaarloosbaar kleine weerstand. Ook worden eventuele contactweerstand verwaarloosd.

3p **20** Bereken de stroomsterkte die nu door haar opstelling loopt.

Als de stroom loopt, begint het koperstaafje om de magneet heen te draaien. Er werkt dus een kracht op het staafje. In figuur 2 is de situatie schematisch getekend. In punt Q staat het magneetveld loodrecht op het staafje. Figuur 2 staat vergroot weergegeven op de uitwerkbijlage.

figuur 2



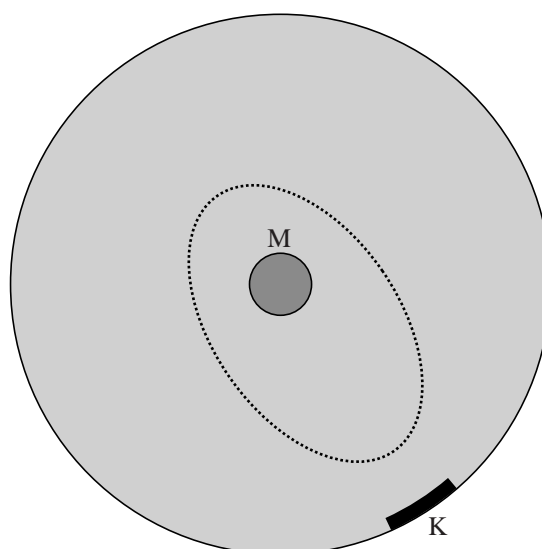
4p **21** Voer de volgende opdrachten uit:

- Teken in de figuur op de uitwerkbijlage de richting van het magneetveld en van de kracht in punt Q.
- Geef daarmee aan of het staafje, van bovenaf gezien, een draaibeweging maakt met de wijzers van de klok mee of tegen de wijzers van de klok in.

Als Sanne van bovenaf naar het draaiende staafje kijkt, valt het haar op dat de baan ellipsvormig is en niet cirkelvormig.

In figuur 3 is dit schematisch weergegeven. In deze figuur is ook de positie van de magneet M en het koperplaatje K aangegeven.

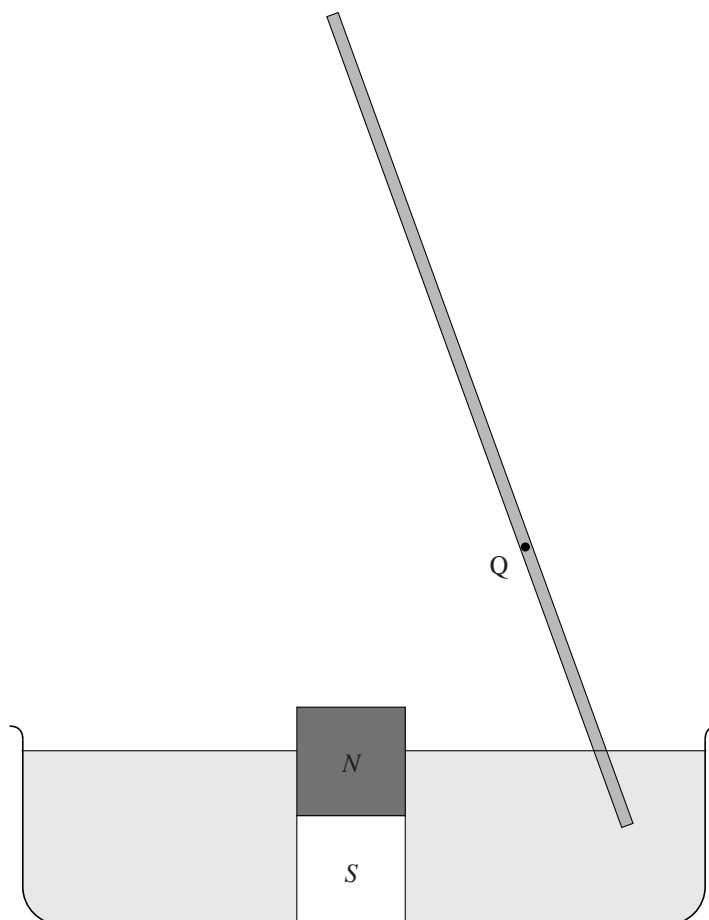
figuur 3



3p **22** Leg uit waarom de baan **niet** cirkelvormig is.

uitwerkbijlage

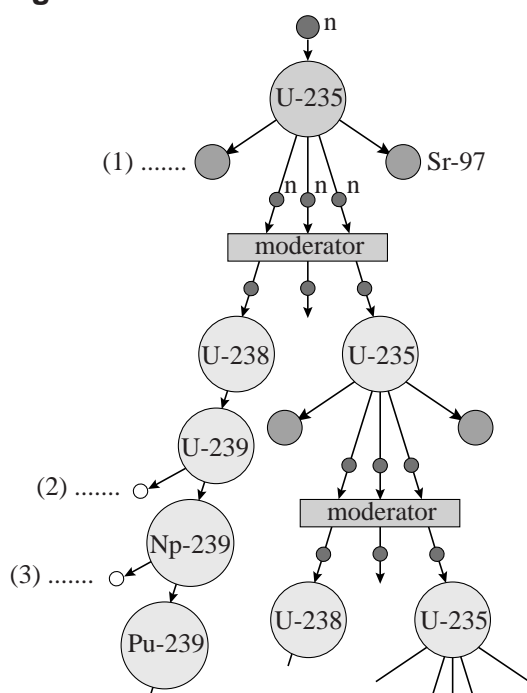
21



Opgave 5 Tritium in een kerncentrale

In figuur 1 is schematisch het proces van kernsplijting weergegeven dat zich in een kerncentrale afspeelt. In het schema staan op drie plaatsen stippeltjes. Figuur 1 staat vergroot op de uitwerkbijlage.

figuur 1



2p **23** Vul in de figuur op de uitwerkbijlage op de drie plaatsen van de stippeltjes de naam van de kern met zijn massagetal in of de naam van het betreffende deeltje.

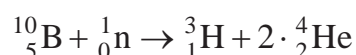
Per splijting van een uranium-235-kern komt gemiddeld een hoeveelheid energie vrij van 190 MeV. Deze energie wordt met een rendement van 35% omgezet in elektrische energie.

In één jaar vinden $2,93 \cdot 10^{27}$ splijtingen in de kerncentrale plaats.

3p **24** Bereken het gemiddeld elektrisch vermogen in gigawatt dat de kerncentrale levert in dat jaar.

Bij een moderne kerncentrale vervult het koelwater onder meer de functie van moderator.

In het schema van figuur 1 lijkt het dat in de moderator geen neutronen verdwijnen. Maar in werkelijkheid gebeurt dat wel, maar in geringe mate. Er kunnen namelijk verschillende reacties optreden waarbij een neutron wordt geabsorbeerd: het kan een reactie zijn met het water zelf of een reactie met één van de stoffen die aan het water zijn toegevoegd. Door boorzuur toe te voegen kan een neutron worden ingevangen door een kern van boor-10. De volgende reactie treedt op:



- 3p **25** Laat zien of bij deze reactie energie vrijkomt of dat er energie nodig is.

Ongeveer twee op de miljoen van de neutronen die vrijkomen bij de $2,93 \cdot 10^{27}$ splijtingen in één jaar, worden geabsorbeerd volgens bovenstaande reactie, waarbij tritium ontstaat.

Gebruikmakend van de formule $A(t) = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} N(t)$ is de orde van grootte van

de activiteit van het tritium te berekenen.

Stel dat de kerncentrale na het opstarten één jaar continu draait.

Hieronder staan vier ordes van grootte van de activiteit na dat jaar.

- a 10^8 Bq
 - b 10^{13} Bq
 - c 10^{18} Bq
 - d 10^{23} Bq
- 3p **26** In welke orde van grootte ligt de activiteit? Motiveer je keuze met een berekening.

uitwerkbijlage

23

