

## Mijnbouw op de maan

De fossiele brandstofreserves op aarde raken uitgeput. Daarom wordt steeds meer energie gewonnen uit wind- en zonne-energie. Ook wordt onderzocht of andere energiebronnen kunnen worden gevonden, zoals blijkt uit onderstaand tekstfragment.

### tekstfragment

“Juist die nabijheid van de maan maakt dat hij van onschatbare waarde is”, zegt Gerald Kulcinski van het Fusion Technology Institute aan de universiteit van Wisconsin-Madison. “Daardoor kun je gemakkelijk op en neer om helium-3 te halen. Helium-3 vormt de perfecte brandstof voor de derde generatie kernfusiereactoren. Op aarde hebben we er niet meer dan tweehonderd kilogram van. Maar op de maan, waar geen atmosfeer is, ‘regent’ het voortdurend neer uit de zonnewind. Uit bodemmonsters weten we dat het bovenste laagje van de maanbodem minstens een miljoen ton helium-3 bevat. Eén ton helium-3 levert dezelfde hoeveelheid energie als ontstaat bij het verstoken van 130 miljoen vaten olie. Met honderd ton helium-3 heb je een jaar lang energie voor de hele wereld. Daarvoor hoef je maar vijf vrachtvaartuigen ter grootte van de spaceshuttle naar de maan te sturen.”

*naar: <http://www.kennislink.nl>*

Helium-3 is een isotoop van het element helium. Een atoom helium-3 heeft massagetal 3.

- 2p 8 Geef met een tekening de bouw van een helium-3 atoom weer. Teken de kern en de schil(len) van de elektronenwolk en geef de plaats van elk proton, neutron en elektron aan door middel van de notaties  $p$ ,  $n$  en  $e$ .

In de bovenste meters van de maanbodem is het gehalte helium-3 gemiddeld 0,01 massa-ppm. Voor het winnen van helium-3 wil men een speciaal ontworpen bulldozer inzetten die de bovenste laag van de maanbodem afgraaft, zeeft en verwerkt. De gezeefde bodemdeeltjes worden vermalen en sterk verhit. De gassen die daarbij vrijkomen, waaronder helium-3, worden onder druk opgeslagen. De energie voor deze processen zal worden gehaald uit zonne-energie.

- 2p 9 Bereken hoeveel ton maanbodem die 0,01 massa-ppm helium-3 bevat, nodig is om 100 ton helium-3 te winnen. Neem aan dat alle helium-3 wordt gewonnen.

Op de maan kan het temperatuurverschil tussen dag en nacht wel een paar honderd graden Celsius zijn. Dit temperatuurverschil zou kunnen worden gebruikt om het gasmengsel dat ontstaat bij het verhitten van de korrels maanbodem, te scheiden.

- 2p 10 Geef aan welk verschil in stofeigenschap dan wordt gebruikt om het gasmengsel te scheiden. Licht je antwoord toe.

Helium-3 zou in de toekomst kunnen worden gebruikt in kernfusiereactors. In de reactor laat men de kernen van helium-3 met hoge snelheid op elkaar botsen, waardoor deze kunnen 'fuseren'. Bij deze fusiereactie van twee helium-3 kernen ontstaan één helium-4 kern en twee protonen ( $p$ ). Deze reactie kan als volgt worden weergegeven:



Net als bij een chemische reactie is ook bij een kernreactie sprake van een energie-effect. Het energieverloop van de reactie kan weergegeven worden in een energiediagram. De activeringsenergie van de reactie wordt bij kernreacties de 'energiebarrière' of 'Coulomb-barrière' genoemd.

- 1p 11 Geef aan de hand van de formule van een helium-3 kern aan waarom deze energiebarrière bij de fusie-reactie (relatief) hoog is.

- 3p 12 Geef het energiediagram van de fusie-reactie. Noteer daarin, met de bijbehorende bijschriften:
- het energieniveau van de beginstoffen;
  - het energieniveau van de overgangstoestand;
  - het energieniveau van de reactieproducten;
  - de energiebarrière.

Er is discussie mogelijk over het winnen van helium-3 op de maan en het inzetten ervan voor energieproductie op aarde. Een centrale vraag daarbij is of het totale proces om energie te produceren, zoals dat beschreven is in deze opgave, netto energie oplevert of uiteindelijk juist energie kost.

- 2p 13 Geef twee aspecten van dit (totale) proces die een rol spelen bij deze afweging. Deze aspecten moeten betrekking hebben op benodigde of vrijkomende energie.

---

#### Bronvermelding

Een opsomming van de in dit examen gebruikte bronnen, zoals teksten en afbeeldingen, is te vinden in het bij dit examen behorende correctievoorschrift, dat na afloop van het examen wordt gepubliceerd.