

Water uit de ruimte

Lees onderstaand artikel.

Water is een noodzakelijke voorwaarde voor leven op onze planeet. Volgens veel wetenschappers is water niet op aarde ontstaan, maar is het op aarde 'aangeleverd' door een groot aantal inslagen van kometen, planetoïden en meteoren. Deze bevatten ijs dat oorspronkelijk in koude interstellaire gaswolken met een temperatuur van 10 K is gevormd.



Een komeet met een massa van $12 \cdot 10^3$ kg beweegt op een hoogte van 100 km boven het aardoppervlak met een snelheid van 50 km s^{-1} richting de aarde.

Bij aankomst op de aarde is de massa van de komeet afgenomen tot $6,0 \cdot 10^3$ kg. Het totaal van de kinetische energie en de gravitatie-energie is dan nog slechts 0,20% van de oorspronkelijke totale energie.

(Het verschil in gravitatie-energie ten opzichte van de zon is bij deze overgang verwaarloosbaar.)

5p **6** Bereken met welke snelheid de komeet op de aarde aankomt.

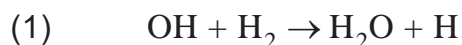
Een komeet zendt IR-straling uit. Het spectrum daarvan bestaat uit een deel met lijnen en een continu deel. Uit het spectrum kan men meer te weten komen over de temperatuur en de chemische samenstelling van de komeet.

Op de uitwerkbijlage staat een tabel.

2p **7** Geef in de tabel op de uitwerkbijlage met een kruisje voor elk deel van het spectrum aan, of daarmee de chemische samenstelling of de temperatuur van de komeet te bepalen is, of geen van beide.

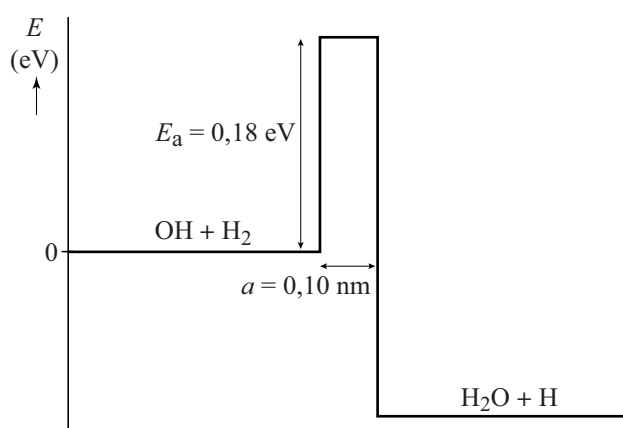
Uit spectroscopische analyses van een aantal kometen en planetoïden blijkt dat deze water bevatten met dezelfde isotopenverhouding van waterstof (^1_1H) en deuterium ($^2_1\text{D} = ^2_1\text{H}$) als op aarde.

Men neemt aan dat water gevormd is in 'interstellaire wolken' bij een temperatuur van 10 K. Eén van de reacties voor watervorming is:



Deze reactie vindt plaats aan het oppervlak van microscopische stofdeeltjes waarbij ijsmantels om de stofdeeltjes worden gevormd. Zoals bij veel reacties moet ook bij deze reactie een activeringsenergie E_a overwonnen worden. Zie figuur 1.

figuur 1



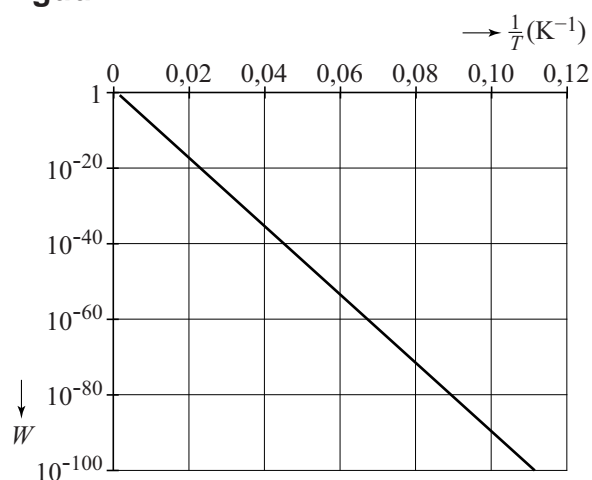
Over deze reactie zijn twee theorieën opgesteld.

- **theorie 1**
De activeringsenergie E_a wordt geleverd door de thermische energie van de betrokken deeltjes. Bij 2100 K hebben de deeltjes een gemiddelde thermische energie van 0,18 eV.
- **theorie 2**
De energiebarrière wordt doorbroken door het quantum-tunneleffect.

over theorie 1

De waarschijnlijkheid W dat de reactie optreedt volgens theorie 1 is alleen afhankelijk van de temperatuur T . In figuur 2 is deze waarschijnlijkheid W weergegeven als functie van $\frac{1}{T}$

figuur 2



- 4p **8** Voer de volgende opdrachten uit:
- Bepaal met behulp van figuur 2 de verhouding van de waarden van W bij 10 K en bij 2100 K.
 - Leg hiermee uit dat theorie 1 geen goede verklaring geeft voor het ontstaan van water bij 10 K.

over theorie 2

Als een H₂-deeltje en een OH-deeltje zich voldoende dicht bij elkaar aan het oppervlak van een vast stofdeeltje bevinden, kan er een reactie door het quantum-tunneleffect plaatsvinden. In deze reactie ‘verhuist’ een H-atoom van het H₂-deeltje naar het OH-deeltje, over een afstand $a = 10^{-10}$ m.

Voor deeltjes met een massa m geldt voor de de Broglie-golflengte λ in een omgeving met temperatuur T :

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2\pi m k_B T}}$$

Hierin is:

- k_B de constante van Boltzmann;
- h de constante van Planck.

- 3p **9** Leg met behulp van deze formule en met figuur 1 uit of er onder deze omstandigheden een redelijke kans is op het quantum-tunneleffect.

Wetenschappers onderzoeken deze reactie in een laboratorium. Ze vervangen daarbij alle waterstofkernen (${}^1_1\text{H}$) door deuteriumkernen (${}^2_1\text{D} = {}^2_1\text{H}$). Dit levert de volgende reactie:



Voor reactie (2) zijn de hoogte en de breedte van de energiebarrière gelijk aan die van reactie (1), zoals weergegeven in figuur 1. Maar reactie (2) heeft een andere kans op het quantum-tunneleffect dan reactie (1).

- 2p **10** Leg uit of de kans dat het quantum-tunneleffect optreedt met deuteriumkernen groter of kleiner is dan met waterstofkernen.

Tim heeft moeite met theorie 2. Hij zegt: “In figuur 1 blijven de hoogte en breedte van de energiebarrière constant, dus je kunt net zo makkelijk ‘terug-tunnelen’ en dan wordt het water weer even snel afgebroken.”

- 2p **11** Leg uit of Tim gelijk heeft.

Water maakt leven op een planeet mogelijk. In tabel 32H van BiNaS en in tabel 3.1a van ScienceData wordt het verband gegeven tussen de temperatuur van het heelal en de tijd sinds de oerknal.

Ewine stelt dat het heelal oud genoeg moet zijn voor het vormen van water volgens theorie 2.

- 2p **12** Leg uit dat Ewine gelijk heeft.

uitwerkbijlage

- 7 Geef van elk deel van het spectrum aan, of daarmee de chemische samenstelling of de temperatuur te bepalen is of geen van beide. Zet hiervoor in elk van de twee regels één kruisje.

deel van het spectrum	chemische samenstelling van de komeet	temperatuur van de komeet	geen van beide
lijnen			
continu			