

Kernfusie: de ontwikkeling van kunstmatige 'zonne-energie'

De energie die we dagelijks gebruiken, is in een of andere vorm afkomstig van de zon. Maar waar haalt de zon zelf haar energie vandaan? Nog geen eeuw geleden ontdekten wetenschappers dat de zon en sterren hun energie opwekken met kernfusie. Intussen kunnen we ook op aarde fusie-energie opwekken. De brandstof bestaat uit eenvoudige bouwstenen, die voor een deel gewoon in zeewater zitten. Wat is er mogelijk met deze veelbelovende bron van energie?



Roger Jaspers



Merlijn Jakobs

Roger Jaspers en Merlijn Jakobs zijn respectievelijk universitair hoofddocent en promovendus bij de afdeling Science and Technology of Nuclear Fusion van de Technische Universiteit Eindhoven. Zij zijn dagelijks bezig met het onderwerp kernfusie. Oorspronkelijk was dit vooral het domein van natuurkundigen, maar meer en meer raken hier andere vakgebieden bij betrokken zoals materiaalkunde, werktuigbouwkunde, electrical engineering en wiskunde. In een notendop vertellen Jaspers en Jakobs iets over de achtergronden en uitdagingen van fusie-energie.

Miljoenen graden

De zon bestaat voor het grootste deel uit waterstof. Onder invloed van de enorme zwaartekracht van de zon worden de kernen van de waterstofatomen zo dicht op elkaar gedrukt dat ze fuseren tot helium. Hierbij komt energie vrij. "In de loop van miljoenen jaren heeft de aarde de fusie-energie van de zon opgeslagen in fossiele energiedragers zoals aardolie, aardgas en steenkool", vertelt Jakobs. "Indirect maken we bij de opwekking van energie dus gebruik van kernfusie. In grote, internationale projecten onderzoeken we nu hoe we ook rechtstreeks fusie-energie kunnen gebruiken."

De zwaartekracht op aarde is lang niet krachtig genoeg om atomen zo dicht op elkaar te drukken dat ze kunnen fuseren. Maar je kunt atomen ook opwarmen zodat ze sneller gaan bewegen. "Als je atomen warm genoeg maakt, komen er af en toe een paar dicht genoeg bij elkaar om te kunnen fuseren", legt Jaspers uit. "Je hebt het dan wel over temperaturen van miljoenen graden." Geen reactorvat is bestand tegen zulke temperaturen, maar gelukkig verandert een gas bij dergelijke temperaturen in een geïoniseerd plasma. Zo'n plasma bestaat uit geladen deeltjes die je kunt beïnvloeden met elektrische of magnetische velden. Hierdoor kun je het plasma opsluiten in een magnetisch veld zodat het niet in aanraking komt met het reactorvat.

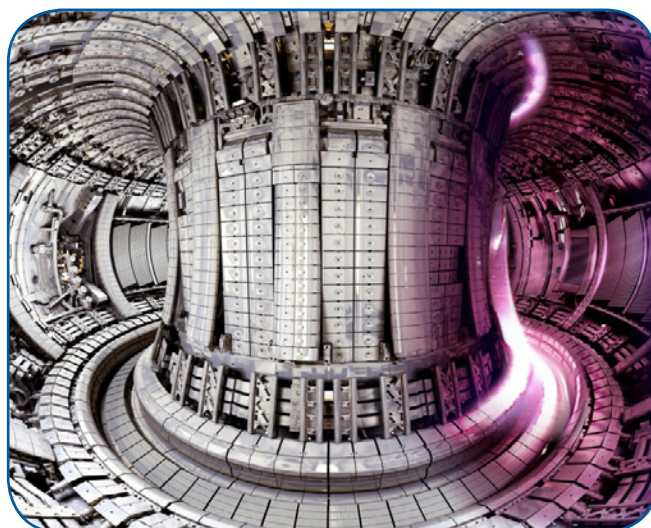
De reactorvaten voor kernfusie heten *tokamaks*. Een tokamak lijkt op een reusachtige donut waarin met behulp van spoelen een magnetisch veld wordt opgewekt. Het hierin opgesloten plasma wordt opgewarmd tot het de juiste temperatuur voor fusie bereikt.

"De verhouding tussen de energie die je met fusie opwekt en de energie die je moet toevoegen, noemen we de Q-factor", legt

Jaspers uit, "met $Q = \frac{\text{opgewekte fusie-energie}}{\text{toegevoegde energie}}$.

Bij $Q=1$ ligt het break-even-punt. Het wordt natuurlijk interessant als Q groter wordt dan 1 en er meer energie uitkomt dan erin gaat."

In de wereld zijn er op dit moment zo'n twintig tokamaks. De grootste heet JET (Joint European Torus) en staat in Culham bij Oxford in Engeland. JET heeft een Q-factor van 0,64 en levert netto dus geen energie. JET levert wel inzichten en kennis die bijdragen aan de verdere ontwikkeling van fusie-energie.



Computersimulatie van de binnenkant van de JET-tokamak met (in roze) een cameraopname van het plasma. In het echt vult het plasma de hele ruimte rondom.
(bron:www.euro-fusion.org/multimedia)

Voor een Q-factor groter dan 1 moet je een grotere tokamak bouwen. Je kunt dit eenvoudige beredeneren aan de hand van de verandering in inhoud en oppervlakte. “Het fusievermogen neemt toe met het volume”, legt Jaspers uit. “Als je een reactor in alle richtingen 2 keer zo groot maakt, dan wordt het fusievermogen 8 keer zo groot. De energie die je moet toevoeren om het plasma op temperatuur te houden, wordt bepaald door hoeveel warmte het plasma verliest. Dit hangt in eerste instantie af van het oppervlak van de reactor – aan de buitenkant verliest het plasma zijn temperatuur – en de temperatuurgradiënt. Bij dezelfde temperatuur in het centrum van de reactor neemt dat verlies dus ongeveer een factor 2 toe. Oftewel, bij een twee keer zo grote reactor neemt je Q-factor een factor 4 toe. Groter is dus altijd beter!” In Frankrijk wordt nu een grotere tokamak gebouwd, met een Q-factor van 10. Dit project heet ITER, dit betekent ‘de weg’, symbolisch voor de weg naar nieuwe energie.

Als een brandende kaars

De beschikbare kennis over kernfusie wordt verwerkt in verschillende soorten wiskundige modellen. Er zijn modellen die een systeem op deeltjesniveau beschrijven. Hierin wordt het gedrag van een individueel deeltje relatief eenvoudig beschreven, maar het collectieve gedrag is heel complex. In deze modellen speelt statistiek een belangrijke rol. Andere modellen gaan uit van de verzamelde meetgegevens van meerdere tokamaks. Deze modellen beschrijven het gedrag van een systeem op macroniveau.

Dergelijke wiskundige modellen zijn een belangrijk hulpmiddel voor Jakobs. Voor zijn onderzoek bestudeert hij het gedrag van *brandend plasma*. Dit is plasma waarbij, net als bij de vlam van een kaars, geen verhitting van buiten nodig is om het in stand te houden: als hij eenmaal is aangestoken, brandt de vlam zelf door. De brandstof die het plasma daarvoor nodig heeft is een mengsel van deuterium en tritium (waterstofisotopen met respectievelijk één en twee neutronen). Door kernfusie ontstaan hieruit heliumatomen en neutronen volgens $D^+ + T^+ \rightarrow He^{2+} + n^0$.

De ongeladen neutronen vliegen het magnetisch veld uit en worden geabsorbeerd in de wand van het reactorvat. Hierbij komt warmte vrij die via koelwater en stoomturbines wordt omgezet in elektrische energie. De geladen heliumatomen blijven opgesloten in het magnetisch veld en verwarmen via botsingen weer andere deeltjes.

Als er een evenwicht ontstaat, kan het plasma zichzelf een bepaalde tijd op temperatuur houden. “Of dat lukt hangt van veel factoren af”, vertelt Jakobs. “Bij welke temperatuur brandt een plasma, hoe groot moet de dichtheid en energie-inhoud van het plasma zijn, hoe snel moet je nieuwe brandstof toevoeren, hoe snel moet je de gevormde heliumatomen verwijderen, wanneer wordt het plasma warmer, wanneer dooft het uit?” Op dit moment is het nog niet mogelijk om een brandend plasma te maken. “We gebruiken de resultaten over energie- en deeltjestransport van bestaande tokamaks om te voorspellen hoe een brandend plasma zich zal gedragen.” Jakobs gebruikt hiervoor wiskundige modellen. “De systemen waaraan we willen rekenen zijn vaak te complex om ze analytisch te beschrijven. Daarom lineariseren we die systemen. We beschrijven het systeem voor een klein gebiedje met een lineaire vergelijking. Binnen dat gebiedje is dat een goede wiskundige benadering, daarbuiten geldt dat niet.”

“Wat mij het meest aanspreekt, is de stap die je helpt zetten van het lab naar realisatie.”

Geen saaie kantoorbaan

Kernfusie wordt wereldwijd onderzocht. Voor zijn onderzoek ging Jakobs naar China en Zweden, geen saaie kantoorbaan dus. In projecten zoals JET en ITER werken landen samen en de kennis die wordt opgedaan, wordt internationaal gedeeld. Jakobs werk is daar onderdeel van: “Wat mij het meest aanspreekt is de stap die je helpt zetten van het lab naar realisatie.” De realisatie van kernfusiecentrales duurt nog even, maar wiskunde zal zeker aan hun komst bijdragen.

Wilt u op school dieper ingaan op het onderwerp Kernfusie dan zijn er meerdere mogelijkheden.

- In de lessen kunt u zelf aan de slag met de NLT-module ‘Kernfusie’ die ontwikkeld is in samenwerking met het FOM-Instituut voor Plasmafysica Rijnhuizen in Nieuwegein. U vindt deze module voor vwo 5 en 6 op http://betavak-nlt.nl/lesmateriaal/modules/gecertificeerde_vwo_modules/modules/00037/. In het verlengde van de NLT-module kunnen studenten zelf experimenteren op het FOM-instituut DIFFER.
- Ook kunt u de Fusion Road Show uitnodigen bij u op school. Deze show is een combinatie van theater, beelden, film en live experimenten over de toekomst van energie. Meer informatie hierover vindt u op <http://www.fusie-energie.nl/nl/fusie-energie/fusion-road-show>.