

Water koken met sterrenstof

De griepepidemie heeft ook bij The Quantum Universe flink huisgehouden. Als alleen een warme kop thee met veel honing nog tegen de verkoudheid kan helpen, vragen wij ons natuurlijk af waarom het zo lang duurt voordat een pannetje water op het gasfornuis aan de kook raakt. Kan dat niet wat sneller? Einstein vertelde ons dat massa energie is – kunnen we daar niet wat van gebruiken? En wat heeft dat allemaal te maken met het metaal van je pannetje?

Op een druilerige winteravond besluit je een kopje thee te zetten. Hoe veel brandstof heb je nodig om een liter water aan de kook te brengen? Als we vanaf kamertemperatuur beginnen, heeft een pannetje water een paar minuten nodig om honderd graden te bereiken. Hoe veel gas wordt daarbij verbruikt? Het kost ongeveer 4 joule om één gram water één graad op te warmen, dus om een liter water zo'n tachtig graden op te warmen hebben we rond de 320 kilojoule nodig. Gronings aardgas verbranden levert je per kubieke meter ongeveer 32 megajoule op, dus met een honderdste daarvan kunnen we uit de voeten. Dat is ongeveer tien liter gas om één liter water aan de kook te krijgen! Dat klinkt niet heel efficiënt.



Afbeelding 1. Water koken op gas. (Bron: Ervins Strauhmanis @ Flickr)

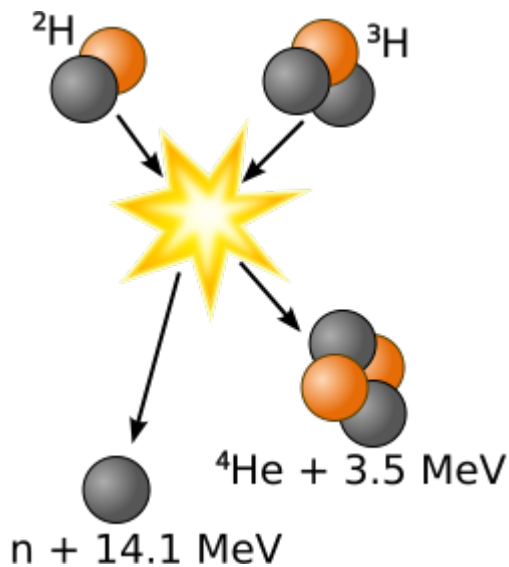
De waterkoker is al een stuk zuiniger, aangezien die elektrische energie vrij direct in warmte om kan zetten. Stopcontacten kunnen echter ook maar een beperkte hoeveelheid energie leveren, rond de twee kilowatt. Met een verwarmingselement van twee kilowatt heb je dan alsnog ongeveer drie minuten stroom nodig om een liter water te laten koken. Die stroom moet echter ook ergens vandaan komen, en tenzij er zonnepanelen op je dak liggen, gaat er ook aardig wat energie verloren in het transport van de elektriciteitscentrale naar je huis.

Gelukkig heeft Einstein ons geleerd dat er een veel rijkere bron van energie bestaat: de materie zelf! In misschien wel de bekendste vergelijking van de natuurkunde, $E = mc^2$, wordt beschreven hoe massa (m) en energie (E) aan elkaar gerelateerd zijn door het kwadraat van de lichtsnelheid c , een enorm getal. Als we direct de energie van massa om zouden kunnen

zetten in warmte om ons pannetje water te koken hebben we slechts vier nanogram brandstof nodig!

Helaas is het heel lastig om materie direct in energie om te zetten. Chemische processen zoals de verbranding van aardgas wekken energie op door middel van het verbreken en aangaan van gunstige verbindingen tussen de elektronen van verschillende atomen. Als de elektronen in het molecuul aan het eind van de reactie een lagere bindingsenergie hebben dan aan het begin van de reactie, is er netto energie vrijgekomen. De atoomkernen blijven daarbij echter onveranderd. Verreweg het grootste deel van de massa van een atoom zit in die kern, en het was heel lang de vraag of het ook mogelijk zou zijn om de atoomkernen zélf reacties aan te laten gaan. Kunnen twee atoomkernen bijvoorbeeld op elkaar botsen en samen een nieuwe kern vormen?

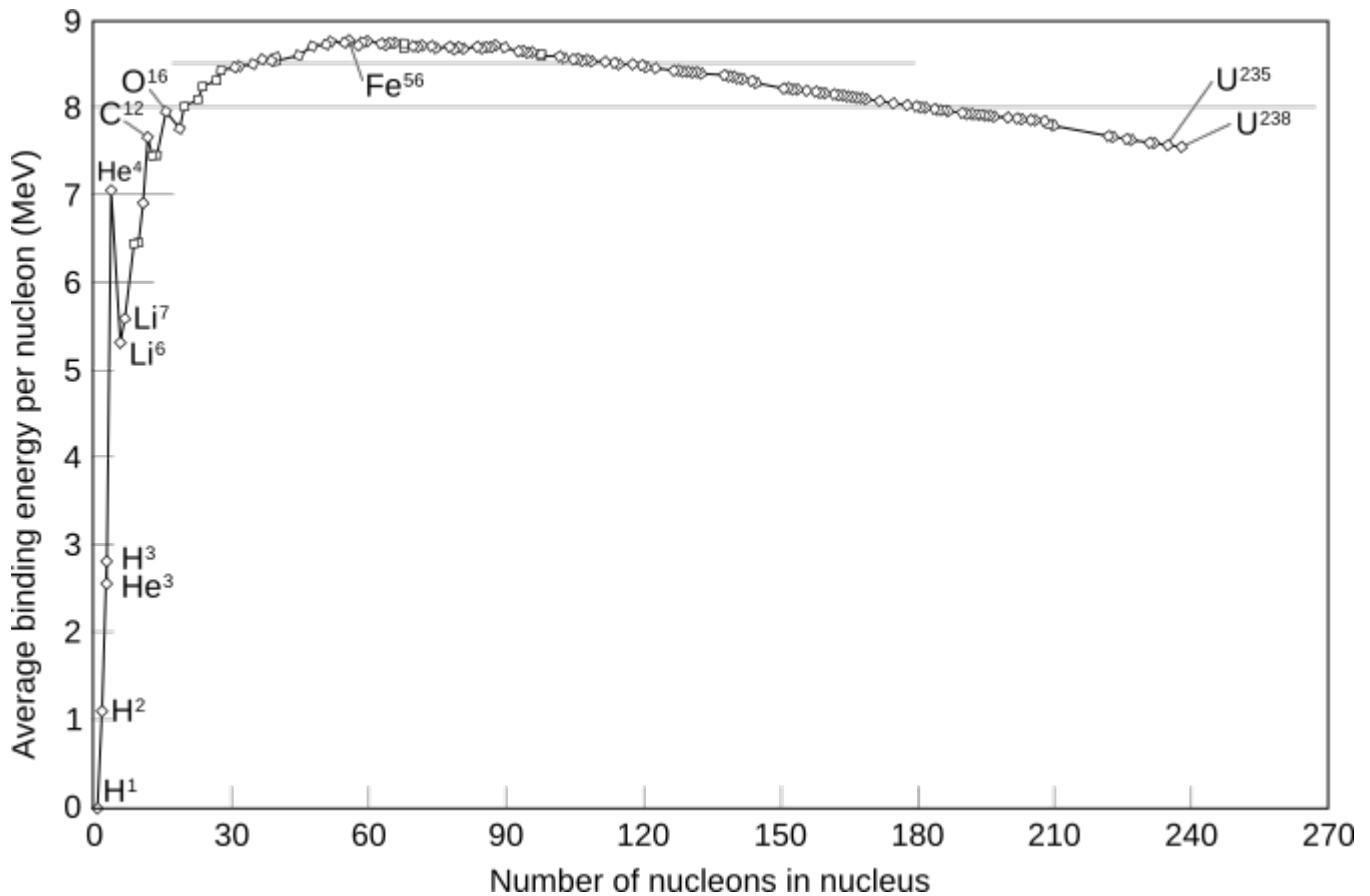
Dat blijkt inderdaad mogelijk te zijn, maar niet zonder slag of stoot. Er zijn grofweg twee krachten die hierbij een rol spelen. Ten eerste worden de (elektrisch positief geladen) atoomkernen door de **Coulombkracht** van elkaar afgestoten. Aan de andere kant houdt de sterke kernkracht de bouwstenen van de atoomkern bij elkaar. Zoals de naam al zegt, is dit een heel sterke kracht, maar de sterke kernkracht is wel een kracht die pas op korte afstand in actie komt. Door de balans tussen deze twee krachten, kernkracht en Coulombkracht, ontstaat er als het ware een grote heuvel die een barrière tussen twee atoomkernen vormt. Deze barrière is hoog, maar als de kernen met voldoende energie botsen kan deze overschreden worden!



Afbeelding 2. Fusie van deuterium en tritium naar helium-4. (Bron: Wikimedia)

Klassiek gezien rollen de deeltjes van buiten af tegen de helling op en weer terug naar buiten, maar in een systeem met eindige temperatuur kan het zijn dat er per ongeluk eens een deeltje over de rand valt. Volgens de quantummechanica kunnen deeltjes bovendien door een potentiaalbarrière heen [tunnelen](#). Op al deze manieren kunnen twee positief geladen kernen alsnog bij elkaar komen.

Wat gebeurt er echter als het zo ver is? Als de sterke kernkracht eenmaal de atoomkernen in zijn grip heeft gekregen, zal het die uitspreiden tot één geheel. Er wordt dus effectief een nieuwe atoomkern gevormd. Dit proces noemen we kernfusie. En net als bij chemische processen kan ook hier de bindingsenergie tussen de bouwstenen van deze nieuwe kern kleiner kan zijn dan de som van zijn twee bouwstenen. In zo'n proces is dus energie uitgezonden!

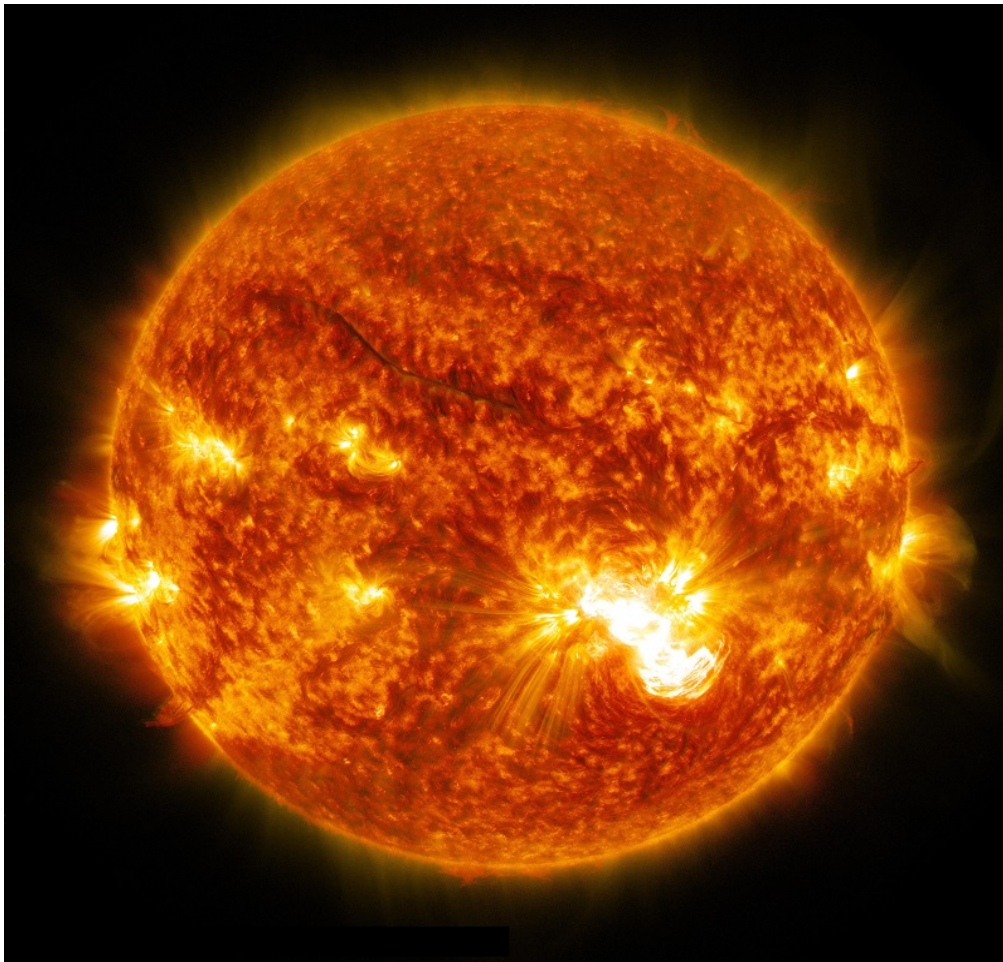


Afbeelding 3. Bindingsenergie van atoomkernen.(Bron: Wikimedia)

Deze nieuwe, grote kern kan echter niet onbeperkt groeien. Aangezien het volume met de derde macht van de straal van een bol groeit en de oppervlakte met het kwadraat, zijn er op een zeker moment te weinig bouwstenen aan de 'oppervlakte' van de atoomkern die via de sterke kernkracht aan een inkomende kern kunnen trekken. Het grootste deel van de bouwstenen zit in de atoomkern, en telt dus niet meer mee voor de aantrekkende sterke kernkracht maar wel voor de afstotende Coulombkracht. Op dat moment wordt het ongunstig voor de atoomkernen om te fuseren. In het periodieke systeem ligt dit punt ongeveer bij ijzer.

Door de enorm hoge energie die nodig is om atoomkernen dicht genoeg bij elkaar te brengen, is het heel moeilijk om in een laboratorium op aarde de temperatuur en druk te realiseren die nodig zijn om kernfusie zelfs voor de lichtste atoomkernen voor elkaar te

krijgen. Gelukkig zijn er in het heelal betere laboratoria waar de temperatuur en druk heel hoog zijn: sterren! Kernfusie is zelfs de belangrijkste bron van energie van de meeste sterren. Waar het op aarde al heel veel moeite kost om de lichtste elementen te laten fuseren, kan een zware ster helemaal tot aan ijzer blijven fuseren. Alle zwaardere elementen, zoals het metaal van je pannetje, zijn waarschijnlijk ooit in een ster gemaakt. Als wij dan toch maar weer naar het gasfornuis lopen om ons kopje thee te koken, hebben we dus alsnog iets aan de kernfusie gehad!



Figuur 4: De dichtstbijzijnde succesvolle fusiereactor. (Bron: Wikimedia)