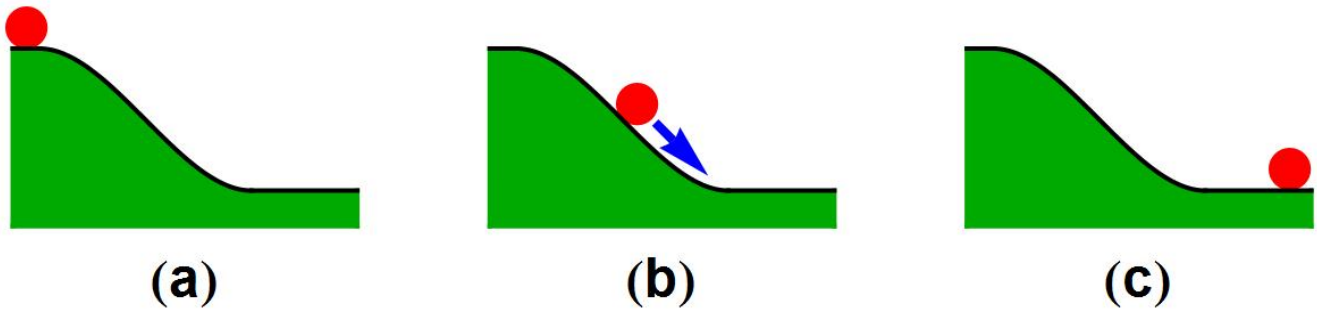
Entropie (1): Entropie in het kort

De natuur is interessant omdat ze dynamisch is. In een heelal waarin niets beweegt, waar alles altijd in dezelfde toestand verkeert, zou weinig interessante natuurkunde te doen zijn. Sterker nog: in zo'n heelal zouden überhaupt geen mensen zijn om de natuur te bestuderen! Wij bestaan omdat in de zon kernfusie plaatsvindt, die de aarde van licht en warmte voorziet. De zon bestaat op haar beurt omdat een grote wolk van gas en stof onder de invloed van de zwaartekracht ineenstortte en zo een ster vormde. Die gas- en stofwolk ontstond weer uit de restanten van ontplofte oudere sterren, en uiteindelijk ontstond deze hele brij van gas, stof en sterren zo'n veertien miljard jaar geleden uit een enorme ontploffing die we de oerknal noemen.



Afbeelding 1. Een bal rolt van een heuvel afBovenaan de heuvel (a) heeft de bal zwaarte-energie. Tijdens het rollen (b) wordt een groot deel van die energie omgezet in bewegingsenergie. Als de bal onderaan de heuvel tot stilstand is gekomen (c), is de bewegingsenergie door de wrijving omgezet in warmte. De totale hoeveelheid energie blijft in dit proces hetzelfde.

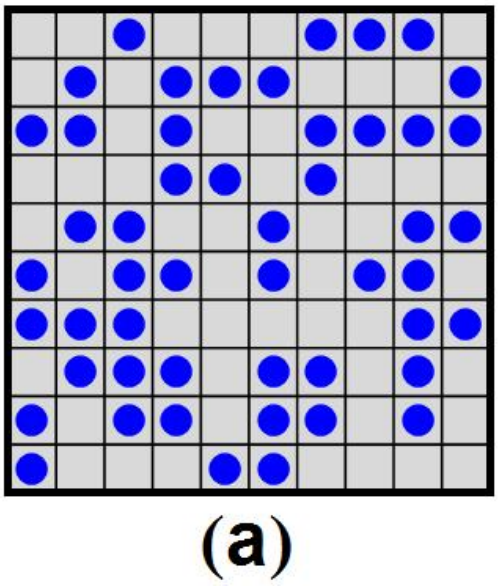
In al deze processen – de kernfusie in de zon, het ineenstorten van gas- en stofwolken, het ontploffen van sterren – speelt *verandering* een centrale rol. Maar waar komt al die verandering vandaan? Waarom is het heelal niet saai en statisch?

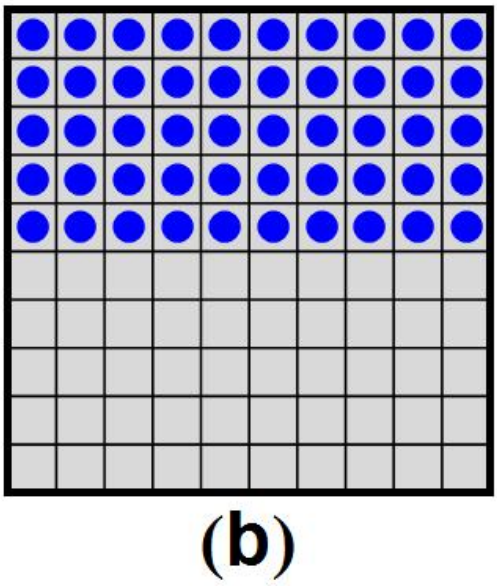
Verandering wordt vaak geassocieerd met het begrip *energie*. De zon straalt warmte uit, en

levert zo energie aan de aarde. In een gaswolk die samentrekt, krijgen de gasdeeltjes bewegingsenergie, die vervolgens leidt tot het opwarmen van de gaswolk. Energie en verandering lijken inning met elkaar verbonden.

Toch is dat niet de hele waarheid. Een van de belangrijkste natuurwetten zegt dat energie nooit verloren kan gaan: energie kan overgaan van de ene in de andere vorm, maar de totale energie in de natuur blijft altijd gelijk. Als een bal van een heuvel afrolt, wordt de zwaarte-energie van die bal (ook wel “potentiële energie” genoemd) omgezet in bewegingsenergie (“kinetische energie”). Als de bal onderaan de heuvel door de wrijving met de ondergrond langzaam tot stilstand komt, wordt door die wrijving de kinetische energie omgezet in weer een andere vorm van energie: warmte.

Als energie nooit ontstaat of verloren gaat, kan het begrip energie alleen dus niet voldoende zijn om al die verandering in de natuur te beschrijven. Een tweede begrip is daarbij van belang: het begrip *entropie*. Entropie zegt iets over orde en wanorde, over willekeur en structuur, over regelmaat en onregelmatigheden in de verdeling van energie en materie. Het belangrijkste idee achter entropie is dat *willekeur* overeenkomt met *gelijkmatigheid*. Als alle materie en energie in het heelal volkomen willekeurig over het universum verdeeld zouden zijn, zou het heelal er op grote schaal uitzien als een kille, ijle, egale soep van deeltjes en energie. Juist doordat de verdeling van materie en energie zo *onwillekeurig* is – hier een hete ster met een enorme concentratie van deeltjes en energie, daar een koud en vrijwel leeg vacuüm – ontstaat een dynamisch heelal.


(a)


(b)

Afbeelding 2. Willekeur en gelijkmatigheidIn afbeelding (a) heeft de computer vijftig blauwe schijven willekeurig over de honderd vakjes verdeeld. In afbeelding (b) is de verdeling duidelijk niet willekeurig. In de willekeurige rangschikking zijn de schijven veel gelijkmatiger over de oppervlakte verdeeld.

Natuurkundige processen hebben de neiging om de willekeur en gelijkmatigheid in het heelal te laten toenemen. Als een gasfles leegstroomt, verandert een situatie met een hoge gasdruk in de fles en een lage luchtdruk daarbuiten, in een gelijkmatigere situatie waarin de druk en de dichtheid van het gas binnen de fles en daarbuiten gelijk zijn. Als een kop thee afkoelt, gebeurt hetzelfde met de temperatuur van de thee en van de omgeving: die temperaturen beginnen ongelijk, maar eindigen gelijk. Entropie is een maat voor de willekeur in een natuurkundig systeem. Hoe hoger de entropie, hoe egaler de materie en energie verdeeld zijn. Hoe lager de entropie, hoe meer verschillen er zijn. En in tegenstelling tot energie is entropie niet behouden: we zullen in wat volgt zien dat *entropie altijd toeneemt*. Die toename van entropie leidt ertoe dat ons heelal zo veranderlijk is.

Dit is het eerste artikel in het dossier Entropie. In het tweede artikel in dit dossier zullen we een eenvoudig voorbeeld zien van de werking van het begrip entropie.