

Hoeveel sterren heb je nodig om een mens te maken?

→ Waarschijnlijk meerdere. Onze eigen ster, de zon, houdt het leven op aarde in stand, maar de meeste elementen in ons lichaam zijn gemaakt in andere sterren die miljarden jaren geleden zijn gestorven.

↗ Ons lichaam bestaat uit een wonderlijk samenraapsel van elementen. Zo'n 99 procent van onze massa komt voor rekening van zes elementen: zuurstof, koolstof, waterstof, stikstof, calcium en fosfor. Maar daarnaast bevatten we nog zo'n twintig andere onmisbare elementen, waaronder chloor, magnesium en kalium.

Elk waterstofatoom in ons lichaam heeft in zijn kern een proton dat binnen een seconde na de oerknal werd gevormd (blz. 14). De meeste elementen in ons lichaam zijn echter gevormd in sterren.

De zon en andere sterren wekken energie op door middel van een soort kosmische alchemie. Uit lichte elementen ontstaan zwaardere elementen als gevolg van kernfusie. Door de hitte en druk midden in de ster worden protonen op elkaar geperst, met kernen van heliumatomen als resultaat. Dit werd voor het eerst geopperd in 1920 door de Britse astronoom Arthur Eddington; andere wetenschappers werkten dit later uit.

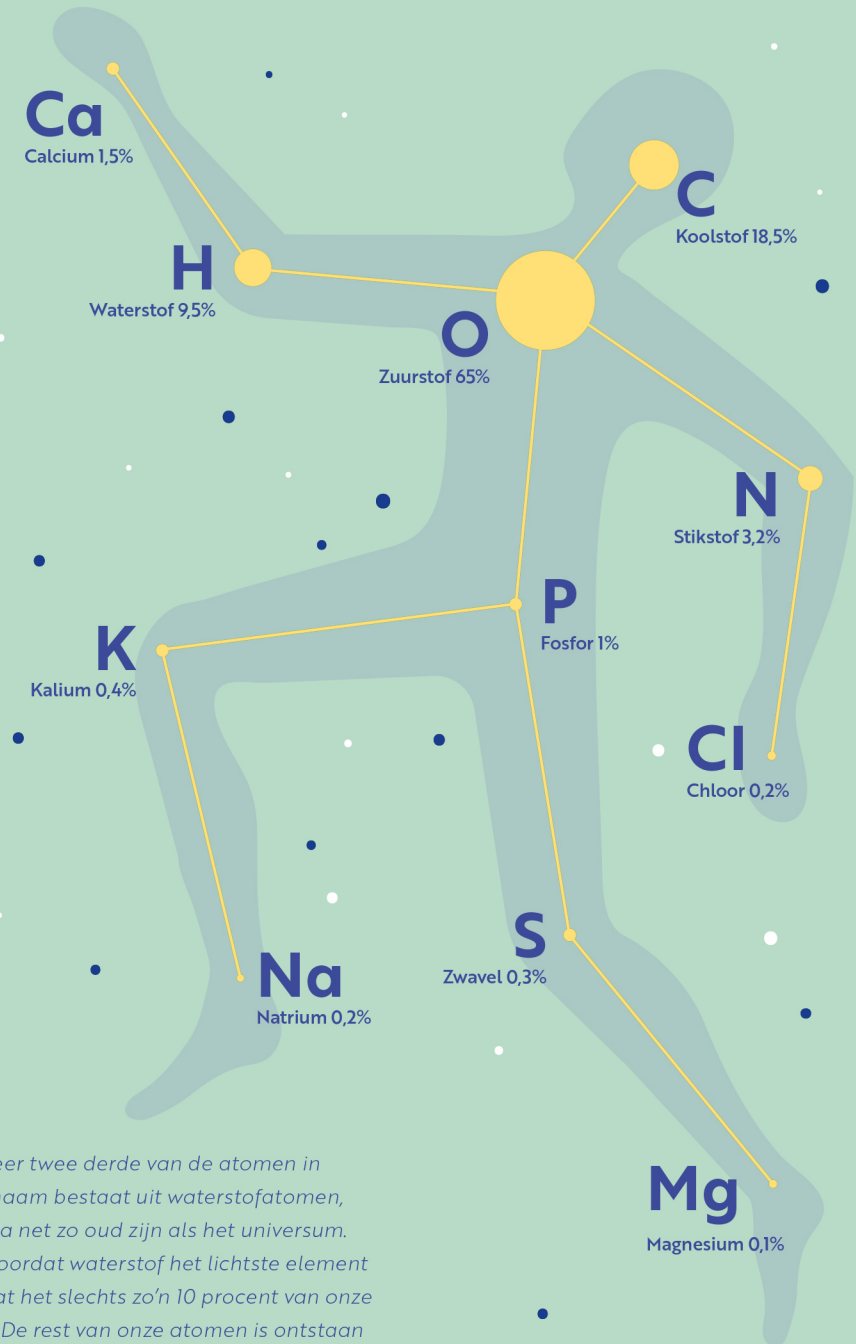
In de jaren 1940 en 1950 liet Fred Hoyle zien hoe door andere kernfusieprocessen grotere atoomkernen worden gevormd. Als de waterstof in de ster opraakt, trekt deze samen. Hierdoor wordt het binnenin zo heet dat uit heliumkernen

elementen als koolstof en zuurstof ontstaan. Lichte sterren laten het daarbij en worden witte dwergen. Zwaardere sterren echter gaan verder het periodiek systeem door (blz. 54) en maken ijzer, kobalt en nikkel. In sommige sterren leiden kernreacties tot de opname van extra neutronen in deze kernen, met nog zwaardere elementen als resultaat.

Daarna kan het er explosief aan toegegaan. Zonder de uitwaartse druk als gevolg van kernfusie stort het binnenste van de ster in elkaar. De kernen worden samengeperst tot een neutronenster of zelfs een zwart gat (blz. 42). Een schokgolf blaast de buitenste lagen weg in een supernovaexplosie waarbij alle elementen de kosmos in geslingerd worden. Wetenschappers denken dat botsingen tussen neutronensterren en tussen witte dwergen ook bronnen zijn van elementen die zwaarder zijn dan ijzer.

Elke keer dat een ster implodeert of explodeert, kan dat een bron zijn van nieuw leven. Het residu kan geleidelijk samenklonteren tot wolken waaruit nieuwe sterren en planeten ontstaan. Gezien de leeftijd van ons universum zullen veel van de atomen in ons lichaam al meerdere van dit soort wederopstandingen hebben meegemaakt.

NUCLEOSYNTHESE IN STERREN



Ongeveer twee derde van de atomen in ons lichaam bestaat uit waterstofatomen, die bijna net zo oud zijn als het universum. Maar doordat waterstof het lichtste element is, omvat het slechts zo'n 10 procent van onze massa. De rest van onze atomen is ontstaan door kernfusie in het hart van sterren. De algemeenste zijn zuurstof en koolstof, maar ook elementen als zwavel en magnesium, die minder dan 1 procent van onze massa beslaan, zijn onmisbaar voor ons leven. Zoals astronoom Carl Sagan al zei: 'Wij bestaan uit sterrenstof.'

MASSA

MAGNETISCH VELD

De wijze waarop magnetische kracht is verdeeld in en om een magnetisch voorwerp of als gevolg van een elektrische stroom.

ELEKTRISCHE LADING

Eigenschap van sommige subatomaire deeltjes waardoor materie een kracht ondervindt in een elektromagnetisch veld.

ELEKTROMAGNETISME

Een van de fundamentele natuurkrachten, resultaat van de interactie tussen elektrisch geladen deeltjes en de magnetische velden die hiervan het gevolg zijn.

BEWEGINGSWETTEN

Drie door Isaac Newton opgestelde wetten die het verband beschrijven tussen de krachten die op een lichaam werken en de beweging ervan. Gelden niet op atomaire schaal of bij snelheden die de lichtsnelheid benaderen.

ISAAC NEWTON

Engelse natuur- en wiskundige (1643-1727) die de bewegingswetten en de zwaartekrachtwet opstelde, naast allerlei andere prestaties.

DONKERE ENERGIE

Hypothetische energievorm die tegengesteld aan de zwaartekracht werkt en die als verklaring voor de versnelling van het uitdijen van het heelal is geopperd.

MAXWELVERGELIJKINGEN

Vier door James Clerk Maxwell opgestelde vergelijkingen die de eigenschappen en onderlinge verhoudingen beschrijven van magnetische velden en elektrische ladingen, stromen en velden.

KRACHT

Het duwen tegen of trekken aan een voorwerp, op een afstand of door aanraking. Brengt in beweging of leidt tot verandering van snelheid of vorm.

ZWAARTEKRACHT

Aantrekkingskracht tussen twee voorwerpen, afhankelijk van hun beider massa en de afstand ertussen, zoals beschreven door Isaac Newton. In het geval van zeer grote massa's nauwkeuriger beschreven door Einsteins algemene relativiteitstheorie.

DONKERE MATERIE

Hypothetische vorm van onzichtbare materie die meer dan 80 procent zou uitmaken van alle materie in het universum en specifiek gedrag van sterren, planeten en sterrenstelsels zou verklaren.

THERMODYNAMICA

De wetenschap van het verband tussen temperatuur, warmte, arbeid en energie.

ENTROPIE

Maat voor de wanorde en toevalligheid van een systeem. In de thermodynamica betekent een toename van de entropie dat er minder thermische energie beschikbaar is voor het verrichten van nuttige arbeid.

ENERGIE

Vermogen om 'arbeid te verrichten'. Kan worden omgezet van de ene vorm (zoals thermisch, elektrisch of chemisch) in een andere, maar kan in een gesloten systeem nooit worden geschapen of vernietigd (wet van behoud van energie).

$E = mc^2$

Albert Einsteins vergelijking die de relatie uitdrukt tussen massa en energie. **E** staat voor energie, **m** voor massa en **c** voor de lichtsnelheid.

SPECIALE RELATIVITEITSTHEORIE

Theorie van Albert Einstein uit 1905 die verklaart waarom de lichtsnelheid in een vacuüm voor iedere waarnemer gelijk is, onafhankelijk van diens snelheid of die van de lichtbron.

ALGEMENE RELATIVITEITSTHEORIE

Theorie van Albert Einstein uit 1915 die de zwaartekracht verklaart als een gevolg van de vervorming van de ruimtetijd door voorwerpen met een massa.

ALBERT EINSTEIN

Theoretisch natuurkundige (1879-1955) die de algemene en de speciale relativiteitstheorie opstelde en bijdroeg aan de ontwikkeling van de kwantummechanica.

RUIMTETIJD

Combinatie van de driedimensionale ruimte met een vierde dimensie – de tijd. Belangrijk begrip in de algemene relativiteitstheorie.

ZWAART CAT

Astronomisch object dat zo compact is en een zo grote zwaartekracht uitoefent dat niets eraan kan ontsnappen, zelfs licht niet.

Wat zijn ziektekiemen van plan?

→ Elk piepklein organisme dat een infectie veroorzaakt, is een ziektekiem. Voorbeelden zijn bacteriën, virussen en schimmels. Ze infecteren levende wezens en veroorzaken ziektes die mild kunnen verlopen, maar ook dodelijk kunnen zijn.



De negentiende eeuw was niet het ideale tijdperk om een baby ter wereld te brengen. Destijds, toen de Hongaarse arts Ignaz Semmelweis op een Oostenrijkse kraamafdeling werkte, stierven veel moeders aan kraamvrouwenkoorts.

Semmelweis merkte op dat vrouwen die werden geholpen door een vroedvrouw minder vaak overleden dan vrouwen die werden geholpen door artsen en geneeskundestudenten. Hij vermoedde dat dit kwam doordat de artsen en studenten nadat ze sectie op een overledene hadden verricht kraamhulp verleenden zónder tussendoor hun handen te wassen. Op de een of andere manier brachten ze zo de oorzaak van de ziekte over. Artsen gingen hun handen wassen en het aantal sterfgevallen daalde. De preventieve geneeskunde was geboren.

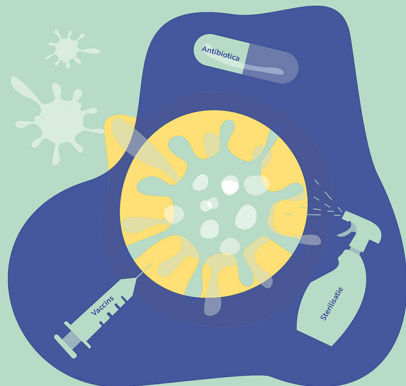
Enkele jaren later toonde de Franse wetenschapper Louis Pasteur als eerste aan dat ziektekiemen ziektes veroorzaken. Hij ontwikkelde vaccins tegen miltvuur en hondsdolheid, en legde de basis voor het doden van ziektekiemen door pasteurisatie. De Duitse wetenschapper Robert Koch werkte Pasteurs

ideeën verder uit. Hij ontdekte de bacteriën die miltvuur, tuberculose en cholera veroorzaken; zijn methode stelde anderen in staat om nog meer soorten ziekteverwekkende bacteriën te ontdekken.

De kiemtheorie – de opvatting dat ziektekiemen ziektes kunnen veroorzaken – werd steeds breder aanvaard. In de jaren 1870 paste de Britse chirurg Joseph Lister deze theorie toe in de operatiekamer. Hij steriliseerde de operatieapparatuur, de huid van de patiënt en zijn handen met fenol. Hierdoor daalde het aantal postoperatieve infecties.

Tegenwoordig is de kiemtheorie algemeen geaccepteerd. Door sterilisatie worden elke dag levens gered. Antivirale medicijnen verlichten de symptomen en gaan verspreiding van virusinfecties tegen. Antimicrobiële medicijnen, zoals antibiotica, helpen bij het behandelen van bacteriële infecties (blz. 112), en vaccins ondersteunen het immuunsysteem bij het in toom houden van ziektes (blz. 108). Dankzij de kiemtheorie zijn veel ziektes die vroeger grote aantallen dodelijke slachtoffers maakten nu relatief eenvoudig te behandelen.

DE STRIJD TEGEN DE KIEMEN



Vroeger dachten veel mensen dat ziektes werden veroorzaakt door slechte lucht of 'miasma'. Nu weet vrijwel iedereen dat infectieziektes worden veroorzaakt door 'ziekttekiemen' – bacteriën, schimmels en andere microscopisch kleine wezens. Ze worden nog altijd fel bestreden met onder meer sterilisatie, vaccins en antibiotica. En aangezien ziektekiemen evolueren, moeten onze behandelingsmethodes mee-evolueren. Daarom worden voortdurend nieuwe medicijnen en vaccins ontwikkeld.

Hoe schep je orde met de chaostheorie?

→ De chaostheorie beschrijft hoe complexe systemen, waarvan het gedrag wordt beschreven door een groot aantal vergelijkingen, uiteindelijk uitmonden in chaos en wanorde.



De chaostheorie wordt ook wel aangeduid als het 'vlindereffect'. Deze wiskundige theorie beschrijft allerlei gedrag in de natuur en het dagelijks leven.

In 1961 probeerde wiskundige en meteoroloog Edward Lorenz met behulp van computermodellen weersveranderingen te voorspellen. Op een avond liet hij zijn computer twee keer draaien met vrijwel identieke beginwaarden; er was de tweede keer een minieme afwijking door een afrondingsfout. Lorenz verwachtte dat de weersvoorspellingen ook vrijwel identiek zouden zijn. Het tegendeel was echter het geval – de twee door de computer voorspelde weersscenario's waren compleet verschillend. Zo werd bij toeval de chaostheorie geboren.

Lorenz wist dat het weer afhangt van talloze variabelen, zoals de windsnelheid, windrichting, luchtvochtigheid en temperatuur. Naarmate de complexiteit van het systeem groter is, resulteren kleine veranderingen in de beginwaarden in toenemende mate in enorme veranderingen in de einduitkomst, zo ontdekte hij.

De officiële naam voor dit verschijnsel is 'deterministische chaos'; soms wordt gezegd dat een systeem chaotisch is. Weersystemen

gedragen zich bijvoorbeeld volgens goed begrepen processen, die experts kunnen modelleren in wiskundige vergelijkingen. De complexiteit van dergelijke systemen leidt er echter toe dat de sluitkomst vaak onvoorspelbaar is.

Jaren later presenteerde Lorenz zijn nieuwe theorie tijdens een lezing met de titel 'Kan de vliegslag van een vlinder in Brazilië een tornado in Texas veroorzaken?' Nu helpt deze theorie bij het verklaren van allerlei alledaagse verschijnselen, zoals onvoorspelbaar gedrag op de aandelenmarkten, trends in medisch onderzoek, robotica en tal van wetenschappelijke toepassingen.

Je zou denken dat chaostheorie gaat over willekeur, maar daarbinnen is wel degelijk sprake van onderliggende patronen en herhaling. Een van de bekendste toepassingsgebieden heeft betrekking op fractals, een term die werd bedacht door de wiskundige Benoit Mandelbrot. Hij liet zien dat je, als je inzoomt op bepaalde objecten, een schijnbaar eindeloze gedetailleerdheid aantreft, vaak in een zich herhalend patroon. De wiskundige schoonheid van fractals is sindsdien doorgedrongen tot de kunst en was een inspiratiebron voor films als *Star Trek* en *Doctor Strange*.

HET VLINDEREFFECT

De analogie van een vlindervleugelslag in Brazilië die een tornado in Texas veroorzaakt is niet letterlijk bedoeld, maar illustreert wel de basisgedachte achter de chaostheorie. Voor zeer complexe systemen, zoals het weer op aarde, geldt dat een minieme variatie in een begintoestand (de vliegslag van een vlinder) enige tijd later verreikende gevolgen kan hebben in andere delen van het systeem.

