

[Binnenland](#)[Buitenland](#)[Economie](#)[Cultuur](#)[Sport](#)[Opinie](#)[Wetenschap](#)[Tech & Media](#)[Meer ▾](#)

Hoe de natuurkunde worstelt met de kosmos

Natuurkunde

Wie lukt het de kosmos te verklaren met één allesomvattend verhaal? Al bijna een eeuw worstelt de natuurkunde ermee. De theorieën die er nu zijn, vertellen totaal verschillende verhalen. Is er wel een oplossing?

 **Margriet van der Heijden**  3 maart 2017

De twee werelden van de natuurkunde gecombineerd in één beeld. Links: foto van het heelal, gemaakt door de Hubble-ruimtetelescoop. Rechts: visualisering van twee op elkaar botsende protonen, in de deeltjesversneller van Cern.

NASA/ESA 

Hoe moeten geïnteresseerde lezers nog iets begrijpen van alle recente ideeën over de kosmos? Hoe kunnen ze de weg vinden tussen concepten die over elkaar heen lijken te buitelen? Liggen er snaren en branen aan de kosmos ten grondslag? Ultra-minuscule elastiekjes en trommelvelletjes die kunnen trillen in 8, 10, 11, of 26 dimensies?

Het leek lange tijd de meest veelbelovende route naar een dieper begrip van het universum. Rond 2010 werkten evenveel fysici aan snaartheorie als zich rond 1900 met al het natuurkundig onderzoek in de hele wereld bezig hielden. Zij ontwikkelden de wiskunde om uit die snaren de nu bekende bouwsteentjes van materie tevoorschijn te toveren. Als bonus leverden hun formules (ingewikkeld en met veel nadruk op symmetrieën) daarna een ‘graviton’, dat de zwaartekracht zou definiëren; een hele familie van (nog altijd niet waargenomen) ‘supersymmetrische deeltjes’; én een waaier aan allerlei mogelijke heelallen. Dat laatste komt doordat de extra dimensies op talloze manieren - 10500 - zijn ‘op te rollen’ en zo weg te werken, én doordat bij elk daarvan een mogelijke kosmos hoort. Maar: uit de formules zelf rollen nog steeds geen exacte, toetsbare voorspellingen - ook niet na 40 jaar noeste arbeid.

Niet zomaar groeit dus de aandacht voor alternatieve ideeën. Steeds vaker vragen fysici zich af of we de kosmos niet moeten beschrijven met informatietheorie. Ofwel: met bits als basiseenheid, in plaats van snaren. En er is ook een stilaan groeiende groep die eerst gewoon maar eens wil bekijken wat er gebeurt als je de bestaande theorieën bij elkaar brengt op de allerkleinste schalen - vergelijkbaar met de schalen van die snaren.

Over dat laatste schrijft de Italiaanse theoretische natuurkundige Carlo Rovelli. Samen met de Amerikaanse Lee Smolin is hij al jaren een drijvende kracht achter deze aanpak, die ‘*loop quantumgravitatie*’ heet. In zijn boek *Reality is not what it seems* leg hij het nu aan een breder publiek uit. Maar eerst maakt hij een lange aanloop, die zelfs begint bij de Oude Grieken. Zo laat hij zien hoe vaak oude concepten en ideeën telkens weer opduiken. En misschien onbedoeld: ook hoezeer de natuurkunde zelf evolueert.

Eerst zelf zien

Rovelli’s verhaal begint ruim 25 eeuwen geleden. Toen voer Hecataeus, leerling van de natuurfilosoof Thales van Milete, over de Egeïsche zee naar kaap Tenaro, in het zuiden van de Peloponnesos. Diep onder de rotsen daar zou een nauwe doorgang rechtstreeks naar de onderwereld voeren. Maar Hecateus zag snel genoeg: zo’n passage was er niet.

Zo deed Hecateus, net als andere leerlingen uit Thales’ school, iets ongebruikelijks, schrijft Rovelli. Hij stelde autoriteit ter discussie. Niks geloven omdat de leermeester het zegt of omdat het van voorvader op voorvader is doorverteld. Eerst zelf (in)zien, en dan pas aannemen. Het zou natuurwetenschap gaan kenmerken.

Maar er was meer. De Griekse natuurfilosofen kozen voor een systematische aanpak. Ze gebruikten logische redematies. Ze begrepen dat wiskunde de taal is waarmee de wereld valt te temmen. En tegelijk bleven ze speculeren: Democritos deed dat toen hij zei dat aarde, mensen, sterren en planeten de producten waren van lukraak samenklonterende atomen in een verder

lege ruimte. Aristoteles deed het, toen hij stelde dat alles in de kosmos een doel heeft en een reden. Want: er was óók altijd behoefte aan het grote verhaal.

Een nieuw decor van ruimte en tijd

De wetenschappelijke revolutie in de zeventiende eeuw leverde een nieuw groot verhaal op. Met drie ingrediënten: ruimte, tijd en massa. De bewegingswetten van Isaac Newton beschreven hoe massa bewoog tegen het decor van ruimte en tijd. Ze waren gebaseerd op waarnemingen en proeven én universeel. Newtons zwaartekrachtswet beschreef hoe de maan om de aarde draait én hoe voorwerpen steeds sneller naar de aarde storten. In nieuwe experimenten, of door waarnemingen aan planeetbanen, konden de in eenvoudige wiskunde gegoten wetten bovendien steeds weer worden getoetst.

Met alsmaar verfijndere methoden vulden generaties fysici het grote verhaal verder aan. De thermodynamica beschreef warmte en energie. En toen Maxwell en Faraday in de negentiende eeuw elektriciteit en magnetisme onder één noemer brachten, bleken er in het universum ook velden te bestaan, zoals het elektromagnetische veld.

Voor de meeste mensen leek de kosmos zo steeds meer op een precies werkend uurwerk met de natuurkundige wetten als handleiding. Met die handleiding werd ook een nieuwe wereld ingericht: met treinen, wolkenkrabbers, motoren, hydraulische systemen, vliegtuigen, weersvoorspellingen en ruimteschepen.

De komst van twee verhalen

Toch is ook dát grote verhaal al lang weer herschreven. Er kwamen aan het begin van de twintigste eeuw twee verhalen voor in de plaats. Einstein voegde ruimte en tijd samen tot één vierdimensionale ruimtetijd die kon welven onder invloed van massa's. Zo gaf hij een preciezere beschrijving van de zwaartekracht die in één klap ook het voorheen vage decor van ruimte en tijd definieerde - nu dus de ruimtetijd. Als een doos van Pandora toverde de theorie bovendien de ene na de andere bizarre voorspelling tevoorschijn - zwarte gaten, zwaartekrachtslenzen, de oerknal - keer op keer met astronomische observaties bevestigd.

Het tweede verhaal kwam van een groep jonge geleerden en beschreef een andere wereld - op de schalen van het allerkleinste. Hun quantumtheorie was onbevattelijk, heel wiskundig. Energie bestond uit kleine pakketjes, die in wisselwerking traden met de bouwsteentjes van materie. Krachtenvelden, zoals dat elektromagnetische veld, werden daarna beschreven in termen van zulke energiepakketjes - als 'quantumvelden' met een set bijbehorende deeltjes. En in die springerige wereld vol wisselwerkende energiepakketjes heerste per definitie een zekere mate van onvoorspelbaarheid. Tegen-intuïtief en vreemd inderdaad, maar de

theorie is wél aanwezig in elke tas of broekzak, want hij bracht computerchips voort en laptops en smartphones.

Onverenigbare werelden

Alleen één ding lukte niet: weer één verhaal maken van die twee verhalen - een over de ruimtetijd, de andere over energie en deeltjes. In de woorden van Rovelli: een student die 's morgens een college relativiteitstheorie volgt en 's middags een college quantummechanica, kan gemakkelijk denken dat zijn hoogleraren al een eeuw niet met elkaar hebben gepraat. 's Morgens is de ruimte continu en gekromd, terwijl 's middags de wereld vlak is en vol heen en weer springende energiepakketjes. Als de beschrijvingen elkaar ontmoeten, loopt het spaak.

Precies daarop bijten al die snaarfysici, loop-quantumfysici en andere theoretisch fysici nu hun tanden stuk. De aanpak van Rovelli en zijn loopquantumcollega's is daarbij bescheidener dan die van de snaarfysici. Die laatsten nemen een decor van ruimte en tijd en voegen daar een nieuw ingrediënt - snaren en branen - aan toe in de hoop om één overkoepelende theorie te vinden die alle quantumvelden en bouwsteentjes van de natuur verklaart. De loop-quantumfysici bekijken, kort door de bocht, slechts wat er gebeurt als je Einsteins zwaartekrachtstheorie tóch combineert met de quantummechanica.

Hoe ziet in dat geval de ruimtetijd eruit op de kleinste schalen? De onzekerheidsrelaties van Heisenberg uit de quantummechanica vertellen dat een deeltje nooit precies op één plek valt 'vast te pinnen'. Het zal meteen met hoge snelheid ontsnappen, schrijft Rovelli. De relativiteitstheorie leert vervolgens dat zo'n deeltje 'met hoge snelheid' ofwel met 'veel energie' equivalent is aan een deeltje met veel massa. En zo'n massief deeltje beïnvloedt daarna onvermijdelijk de ruimtetijd. Sterker, het maakt een mini-zwart-gat waarin het zelf kan verdwijnen.

Dat maakt het onmogelijk om de ruimtetijd te meten en definiëren beneden een bepaalde limiet (de 'Planckschaal'). Zoals de door Stalin geëxecuteerde Russische fysicus Matvei Bronstein het begreep: op de kleinste schalen is de ruimtetijd korrelig. Veel later vergeleek de bekende fysicus en kosmoloog John Wheeler het met het inzoomen op het ogenschijnlijk gladde oppervlak van de oceaan. Pas van dichtbij wordt het woelige schuim op de golven zichtbaar, net zoals pas op de kleinste schalen de korreligheid van de hier en daar welvende, maar verder gladde ruimtetijd opdoemt.

Daarmee zijn Rovelli en collega's terug bij vragen die de Oude Grieken al stelden. Is de kosmos, zijn ruimte en tijd glad, continu en oneindig? Of zijn ze korrelig en opgebouwd uit een aftelbare verzameling fundamentele eenheden - zoals Rovelli en collega's denken. Zij herschrijven eerst de zwaartekracht in termen van de quantummechanica en als een veld: als een quantumveld dat per definitie bestaat uit losse pakketjes. Daarna zien ze uit lusjes in dat veld kleine korreltjes ruimte ontstaan, met volumes van zo'n 10-105 m³. Gigantisch veel van die korreltjes ('ruimte-atomen') weven zich daarna samen tot de ruimte. Of anders: het volume van een kamer zou je ook kunnen bepalen door alle ruimte-atomen te tellen.

En de tijd? Die begint te tikken als ruimte-atomen zich in dat dynamische netwerk herschikken. Bijvoorbeeld doordat de lusjes wisselwerken met deeltjes, of andere

quantumvelden. Tijd is dus niet langer een fundamenteel concept, maar een 'emergent verschijnsel': een eigenschap die voortkomt uit de complexiteit van een systeem.

Hoe verder?

Poeh. Complex is het. Haast niet in woorden te vatten. Laat staan te toetsen. Hoe zou dat moeten? Zelfs als een walnoot wordt opgeblazen tot het formaat van de zichtbare kosmos, dan nog blijft de schaal van zo'n ruimtekorreltje (en van een snaar) onzichtbaar. Misschien worden ooit de minieme afwijkingen in de lichtsnelheid gemeten die door de korreligheid zouden ontstaan. Vooralsnog bestaat ook dit idee uit een set formules zonder haakje naar de werkelijkheid. En waant de argeloze lezer zich bij alle speculaties soms bijna weer bij de natuurwetenschap in tijden van de Oude Grieken.

Maar Rovelli laat zich niet uit het veld slaan. Metingen (zoals aan het Higgsdeeltje, zwaartekrachtsgolven of kosmische achtergrondstraling) bevestigen telkens hoe redelijk onze kosmologische modellen zijn en hoe robuust de relativiteitstheorie en quantummechanica, schrijft hij. Dat pleit ervoor die theorieën als uitgangspunt te nemen. Al moet misschien de derde grote theorie van de natuurkunde - de thermodynamica - er nog bij gepakt worden, oppert hij. Want die klassieke negentiende-eeuwse theorie van de warmteleer is te interpreteren in termen van het herschikken en uitwisselen van informatie - precies wat gebeurt als quantumvelden met elkaar in wisselwerking treden.

Bovenal is Rovelli optimistisch. Het zoeken en tasten; hier eens aan een draadje trekken; daar eens aan een los eindje peuteren: het is allemaal een fase, vermoedt hij. Uiteindelijk zal er iemand opstaan die een goed idee in een passend (en toetsbaar) wiskundig jasje weet te gieten. En aan die droom houdt hij vast: dat eens iemand voorbij de volgende heuvel kan kijken in die lange 'zoektocht naar kennis die wordt gevoed door een radicaal wantrouwen van zekerheden'.

HOE MOET DE NATUURKUNDE VERDER?

Hoe moeten theoretisch fysici verder zoeken naar de fundamenteën van de kosmos? Pessimisten vrezen dat deze tak van natuurkunde te moeilijk is geworden voor het menselijk brein. Optimisten hopen op een onverwachte experimentele aanwijzing die richting kan geven. Een enkeling oppert dat wiskundige elegantie en consistentie het nieuwe kompas moeten vormen. Weer anderen winden zich daarover op.

In dat licht klinkt de titel die de eminente wis- en natuurkundige Roger Penrose aan zijn recentste boek gaf wat omineus. *Fashion, faith en fantasy in the new physics of the universe* heet het en het gaat over de recente ontwikkelingen in de theoretische natuurkunde. Modes zijn er niet voor niks, schrijft Penrose. **Natuurlijk storten onderzoekers zich op veelbelovende ideeën.** Maar als die zo modieus worden dat ze bijna alle grote fondsen en daarmee mensen aantrekken, zoals bij de snaartheorie was, stagneert werk aan andere, misschien wel betere ideeën.

Het is duidelijk: Penrose staat kritisch tegenover sommige ideeën over de kosmos. Toch kan hij de verleiding van een eigen speculatieve idee niet weerstaan. Daarin liggen 'twistors' ten grondslag aan deeltjes en de kosmos: punten in de twistoruimte - die met de wiskunde van complexe getallen kunnen worden afgebeeld op de ruimtetijd uit Einsteins theorie. **Het zoeken naar antwoorden is onweerstaanbaar.**

Reality is not what it seems, €14,95

Fashion, faith and fantasy in the new universe, €21,95

[Mail de redactie](#)

Lees ook deze artikelen

Je moet van goeden huize komen om aan Einstein te tornen

Honderd jaar na Einstein is er dringend behoefte aan nieuwe ideeën over de zwaartekracht en het

Wat is dat toch met die zwaartekracht?

Einsteins welvend ruimtetijdtapijt heeft ons op een dwaalspoor gebracht, vindt de Nederlandse fysicus Erik Verlinde.

heelal.

02 DECEMBER 2016

02 DECEMBER 2016

Trending

Een ziek mens, overhoop geschoten

De mythe van de onverwoestbare Nokia

Alleen de echte vluchteling is welkom

Het voelde alsof een heel land over mij heen klapte

Veel gedeeld

Dit zijn de indrukwekkendste foto's van afgelopen week

Een frontale aanval op het rolkoffergeratel

Hoe de natuurkunde worstelt met de kosmos

Over NRC

[Auteursrecht](#)
[Privacyverklaring](#)
[Leveringsvoorwaarden](#)
[Cookies](#)
[Stijlboek](#)

Contact

[Redactie](#)
[Opinieredactie](#)
[Colofon](#)
[AdSales](#)
[Klantenservice](#)

Mijn NRC

[Inloggen](#)
[Account aanmaken](#)
[Digitale editie](#)
[Mijn abonnementen](#)
[Service & bezorging](#)

NRC Websites

[NRC Media](#)
[NRC Carrière](#)
[NRC Live](#)
[NRC Webwinkel](#)



