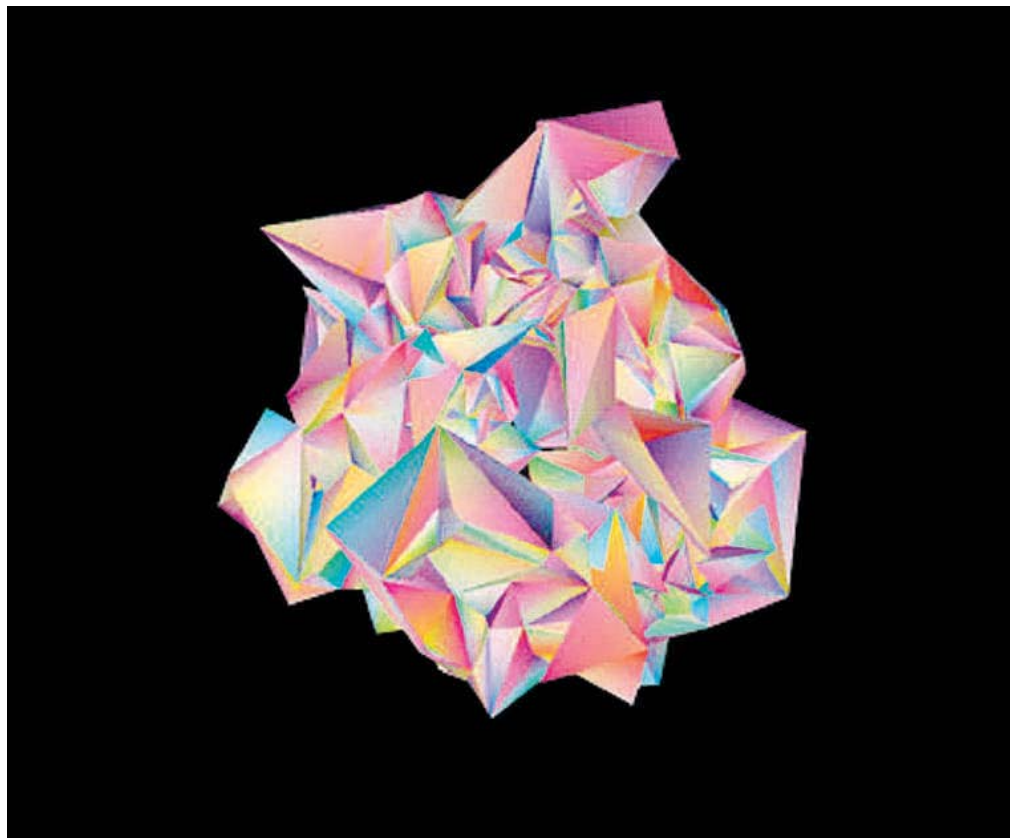


Knutselen met quantumschuim

Op de allerkleinste schaal is de ruimtetijd niet vloeiend maar verbrossend. De Utrechtse fysica Renate Loll plakte als eerste uit microblokjes een wereld met het juiste aantal dimensies. *Dirk van Delft*



continue ruimtetijd plus rimpelingen heb je dan weinig.”

Hoe bouw je een vertrouwd universum met een vierdimensionale ruimtetijd op uit woest quantumschuim? Al tientallen jaren worstelen fysici met dat probleem en het is Renate Loll die na jaar 2004 een doorbraak forceerde. Haar uitgangspunt was niet nieuw: neem minuscule brokjes vlakke ruimtetijd en plak die op iedere denkbare wijze aan elkaar. Door alle mogelijkheden bij elkaar op te tellen, in de quantumtheorie een standaardaanpak, bouw je een universum op macroschaal. Loll: “Ik werk met driehoekjes, maar dan vierdimensionaal. Zo’n meetkundige aanpak spreekt me aan. Het probleem met die opteltechniek was altijd dat het resulterende universum of twee dimensies bezat, of oneindig veel. Er was dus iets grondig mis.”

OPGEROLD Een structuur opgebouwd uit vierdimensionale driehoekjes is niet per se zelf ook vierdimensionaal. In het geval van platte, tweedimensionale driehoekjes kan de uitkomst bijvoorbeeld een ‘opgerolde’ structuur zijn en die is, net als een regenpijp op grote afstand, eendimensionaal. Overigens is de keuze voor driehoekjes niet essentieel: werken met vierkanten zou dezelfde macroscopische einduitkomst moeten opleveren. Bij enorme aantallen bouwstenen van minuscule formaat valt hun individuele geometrie in het eindresultaat weg. De keuze voor driehoekjes is er een van wiskundig gemak.

Het beslissende idee van Loll was om aan de driehoekjes extra causale eisen te stellen: oorzaken dienden aan gevolgen vooraf te gaan. “Zo werkt research: in je hoofd ontwikkelt zich een fantastisch idee en ahhhh! Stel dat het werkt! Alle jaren die je hebt gezwoegd en die hebben geleid tot het stadium waarin je voor die fantastische ingeving ontvankelijk was, doen er opeens niet meer toe. Vervolgens bespreek je het met collega’s en stap je op mensen af die met de driehoekjestechniek vertrouwd zijn. ‘Vergeet het’, zeggen ze, ‘dat werkt echt niet.’ Je moet je in dit vak niet te snel laten ontmoedigen. Toen de collega’s alsnog overtuigd waren, ging ik eerst na of het idee in het simpele geval van twee dimensies iets interessants opleverde. Dat deed het. Vervolgens maakte ik via computermodellen de stap naar drie en vier dimensies. Met als uitkomst dat we een vierdimensionaal universum kregen.” Op 24 september was de publicatie in *Physical Review Letters*, een toptijdschrift.

VOOR RENATE LOLL kan het jaar 2005 nu al niet meer stuk. De in Aken geboren theoretisch fysica, stafid van het Utrechtse Spinoza Instituut, kreeg afgelopen kerst van NWO (Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek) 1,25 miljoen euro om binnen vijf jaar een eigen groep uit de grond te stampen die de quantumstructuur van de ruimtetijd onderzoekt. Dat was vlak nadat Loll bij de EU 2,93 miljoen in de wacht had gesleept voor het opzetten van een netwerk van dertien Europese instituten die samenwerken op het gebied van zogeheten *random geometries* – gereedschap om de ruimtetijd op extreem kleine schaal aan te pakken maar als wiskundige methode ook elders inzetbaar.

“Ik denk graag”, zegt Renate Loll op haar werkamer in het Minnaertgebouw, aan de rand van de Uithof. “Dat houdt me mentaal overeind. Met de structuur van de ruimtetijd zit je echt aan de rand van het voorstelbare. Er zijn nog veel mysteries op te lossen en het is spannend paden in te slaan waar niemand is geweest. In de natuurkunde werk je recht toe recht aan. Ik heb een jaar op de London School of Economics gezeten en dan gaat het over mensen, frustrerend moeilijk. Mijn partner is ook een fysicus en dat zie ik als voordeel: je kunt met iemand over je werk praten. En zodra je langer meedraait in het vak speelt het competitieve element minder. Ook vind ik het prettig dat ik niets hoeft uit te leggen als ik in het holst van de nacht urenlang naar een stuk papier zit te staren.”

Het gebied waarop Loll opereert heet quantumzwaartekracht. Het fundamentele probleem daar is dat Einsteins beschrijving van de zwaartekracht, de algemene relativiteitstheorie uit 1915, op gespannen voet staat met de quantumtheorie zoals die in de jaren twintig ontwikkeld is door Heisenberg, Schrödinger, Dirac en anderen. Bij Einstein raakt de vierdimensionale ruimtetijd (drie voor de ruimte, één voor de tijd) gekromd onder invloed van massa (of energie). Het gevolg is dat een lichtstraal die langs de zon scheert een afbuiging ondergaat – toen Eddington in 1919 tijdens een zonsverduistering het effect waarnam, was Einstein op slag wereldberoemd. Bij Einstein is de ruimtetijd rekbaar, maar tegelijk ook continu en zonder structuur: er zitten bijvoorbeeld geen scheuren in.

PLANCK-SCHAAL In de quantumtheorie, die de wereld van het allerkleinste beschrijft, valt die opvatting niet vol te houden. Tot de steunpilaren van die theorie behoren de roemruchte onzekerheidsrelaties van Heisenberg. Hoe minuscule de lengteschaal waarop je kijkt, hoe groter de fluctuaties in de energie. Die fluctuaties gaan volgens Einstein gepaard met krommingen in de ruimtetijd. Loll: “Daal je af naar de Planck-schaal, de kleinste lengtes waarover de quantumtheorie zich nog zinnig kan uitspreken en dan heb je het over getallen met 35 nullen achter de komma, dan zijn die energiefluctuaties extreem groot. In mijn theorie raakt daardoor de ruimtetijd oneindig sterk gekromd, met oneindig veel vouwen. Maar er zijn ook fysici die met scheuren of gaten werken: geen continuüm meer maar aparte brokjes, sommigen spreken over *quantumschuim*. Het is de taak van de quantumzwaartekracht die turbulente vervorming van ruimtetijd te beschrijven en aan de wiskunde van Einsteins

zekerheid niettemin stralen? Mysteries te over.”

Het Europese netwerk dat Loll coördineert is gespecialiseerd in geometrische methoden (*random geometries*) zoals die van het willekeurig aan elkaar plakken van de vierdimensionale driehoekjes. Maar het kan ook met één dimensie. Loll: “Dan begin je met knooppunten en verbindingslijntjes, denk aan webpagina’s en kruisverwijzingen. De voorbeelden liggen voor het oprapen, ook in de IT en de celbiologie. Wiskundige en statistische beschrijvingen kunnen in het één- en meerdimensionale geval vergelijkbaar zijn. De deelnemers in het ENRAGE-netwerk – European Network of Random Geometries – zijn allen theoretisch fysicus maar hun thuisbases verschillen sterk. Wat het aantrekkelijk maakt om studenten uit te wisselen.” ENRAGE stelt zich expliciet ten doel meer vrouwen naar de fundamentele fysica te lokken. Loll: “Dat is hard nodig, het aantal meisjes dat natuurkunde gaat studeren ligt bedroevend laag. Ook al tasten we niet volledig in het duister, een simpele eenduidige oorzaak of remedie is er niet, laten we beginnen met data verzamelen. Het kan op elk niveau – ouder, crèche, school, universiteit – fout gaan. Wat ook weer inhoudt dat je op elk niveau maatregelen kunt treffen. Op een bijeenkomst over vrouwen in de fysica hoorde ik van diverse deelnemers die zeiden op de middelbare school te zijn ontmoetigd maar niettemin hadden doorgezet. Toch viel me op dat geen van die vrouwen het in de wetenschap ver had geschopt.

“Het doet me denken aan de conferentie die ik als jong student bijwoonde. ‘Wat doet zo’n aardige jongedame hier?’ voegde een vriendelijke oudere fysicus me toe. Met een idee van: ‘waarom schilder je niet?’ Maar ik wist wat ik wilde en was weinig ontvankelijk voor wat anderen daarover te melden hadden. Het is ook een kwestie van persoonlijkheid. Als je je door dit soort kritiek laat wegblazen, kom je nergens.”

Renate Loll

‘Je moet je in dit vak niet te snel laten ontmoedigen’

● **‘Vierdimensionale Picasso’: door minuscule driehoekjes aan elkaar te plakken bouwde Renate Loll een vierdimensionale ruimtetijd zoals wij die op macroschaal kennen.**

De grote uitdaging die er voor Renate Loll en haar onderzoeksgroep in opbouw nog ligt is na-gaan of de verkregen vierdimensionale ruimtetijd op macroschaal nette, vlakke Einsteiniaanse eigenschappen aanneemt. Loll: “Zodra je dat hebt geverifieerd, kun je op de niveaus tussen Planck-schaal en macroschaal in aan quantumgravitatie gaan doen. Vragen genoeg. Is er een cumulatief effect door toedoen van een structuur in de ruimtetijd, een effect dat zijn sporen nalaat in een lichtstraal die uit de diepte van het heelal tot ons komt? Een andere kraker: hoe zit het met de quantumgravitatie van zwarte gaten, objecten die zo compact zijn dat helemaal niets, zelf geen licht, eruit kan ontsnappen maar die door toedoen van de Heisenbergse on-

ILLUSTRATIE PAUL CODDINGTON, UNIVERSITY OF ADELAIDE

FOTO FREDDY RIKKEN

