

# Spelen met modellen in hogere dimensies

## Interview met Juan Maldacena

**Snaartheorie is voor de meeste natuurkundigen geen gesneden koek. Toch trok Juan Maldacena, de gerenommeerde snaartheoreticus van het Institute for Advanced Study in Princeton een bomvolle zaal tijdens de vorige aflevering van Physics@FOM. “No string theory background is required”, staat er expliciet in het programma. Gelukkig, want voor mij, als fysisch chemicus, is snaartheorie iets van een andere dimensie. In 1997 deed Maldacena een belangrijke vondst: de anti-De Sitter/conforme veldentheorie-correspondentie, kortweg ads/cft. In zijn lezing vertelt hij hoe zwarte gaten via die correspondentie relevant worden voor andere fysische verschijnselen. Het lijkt erop dat het velen wat zwaar op de maag ligt, zo stilletjes verlaat het publiek na afloop de zaal. Claud Biemans**

172

Ik heb een kleine voorsprong op de rest van het publiek want in de ochtend voor de lezing heb ik een afspraak met de Argentijnse fysicus voor dit interview, dat aanvankelijk meer het karakter heeft van een privé-college. Nadat ik me heb voorgesteld begint Juan Maldacena meteen snel en energiek te vertellen.

“Je kunt zwaartekracht, of preciezer, de algemene relativiteitstheorie bestuderen in een negatief gekromde hyperbolische ruimte, de zogenaamde anti-De Sitter-ruimte. Alles wat zich in de hyperbolische ruimte bevindt, kan met een bepaalde vertekening geprojecteerd worden als een cirkel op de rand van het universum, die een dimensie minder heeft dan de hyperbolische ruimte. Ik probeer uit te leggen dat quantumveldentheorieën op de rand beschouwd kunnen worden op een wijze die vergelijkbaar is met de manier waarop we gewoonlijk sterke wisselwerking tussen deeltjes be-

schrijven. De bewering van de ads/cft-correspondentie is dat de natuurkunde in het hyperbolische universum equivalent beschreven kan worden door een quantumveldentheorie die geldig is op de rand. Alles wat je in deze deeltjestheorie kunt berekenen, is te vertalen in een berekening of fysisch proces in de hyperbolische ruimte.”

Deze methode kan gebruikt worden voor het bestuderen van veel verschillende dingen, zoals een relatie, of een ongelijkheid. Het werkt als een brug die twee gebieden in de natuurkunde verbindt. Belangrijk is wel dat er sterke wisselwerking bestaat tussen de deeltjes binnen de veldentheorie, ten einde grofweg gewone zwaartekracht te reproduceren in de hyperbolische ruimte. Volgens Maldacena heb je geen kennis van snaartheorie nodig om de redenering te kunnen volgen, zolang je je niet druk maakt over quantumeffecten en alleen kijkt naar klassieke zwaartekracht. Alleen als je

exact wilt weten waarom het zo is en de gedetailleerde manier waarop het werkt, dan komt de snaartheorie om de hoek kijken.

Maldacena: “Gewoonlijk is het heel lastig om het gedrag van zeer sterk wisselwerkende deeltjes, zoals quarks en gluonen en verschillende systemen in de gecondenseerde materie, te bestuderen. Een verrassende eigenschap van deze deeltjes is dat ze de fysica van zwaartekracht nabootsen in een hogere dimensie. Als je, net als ik, denkt dat dit klopt, kun je een zeer moeilijk probleem vertalen in een makkelijk probleem binnen zwaartekracht.”

### Rekenen met zwarte gaten

Met behulp van de ads/cft-correspondentie is niet ieder willekeurig materiaal met sterk wisselwerkende deeltjes met een willekeurige precisie te beschrijven, maar er zijn verschillende voorbeelden bekend waarbij de theorie goed van pas komt. Maldacena

noemt het berekenen van de entropie van sterk wisselwerkende deeltjes bij een bepaalde temperatuur – gewoonlijk een lastig probleem. De ads/cft-dualiteit projecteert de thermodynamica van de deeltjes op een zwart gat binnen de zwaartekrachttheorie. Thermodynamica van een zwart gat is simpel te berekenen, die wordt namelijk gegeven door het oppervlak volgens de Hawking-Bekenstein-formule voor de entropie van een zwart gat. Bereken het oppervlak en je krijgt de vrije energie in een toestand van thermisch evenwicht. Daarna kun je afwijkingen van thermisch evenwicht beschouwen: je exciteert het systeem en kijkt hoe snel het terugvalt naar de evenwichtstoestand. Dat proces is sterk gerelateerd aan transportcoëfficiënten. Die zijn gewoonlijk moeilijk te berekenen in een sterk wisselwerkend systeem, maar opnieuw vrij makkelijk te vinden in de zwaartekrachtsbeschrijving. Een excitatie van het zwart gat is een kleine verstoring van de geometrie, een soort gravitatiegolf die langzaam in het zwart gat verdwijnt. Dat wordt beschreven met een redelijk eenvoudige differentiaalvergelijking. Los deze vergelijking op en je hebt iets geleerd over de transportcoëfficiënten van het sterk wisselwerkende systeem.

Maldacena: “Er zijn veel situaties waarin we geen idee hebben van wat een theorie voorspelt. Het is te vergelijken met een situatie waarin je geïnteresseerd bent in het heliumatoom, maar dat is een ingewikkeld probleem. In plaats daarvan kijken we naar het waterstofatoom. Als dat in onze realiteit niet bestond, dan kon je het toch bestuderen als theoretisch model, een speelmodel. Je kunt ermee stoeien en kijken wat er gebeurt. Je moet alleen nooit uit het oog verliezen dat je rekent aan het waterstofatoom in plaats van aan helium. Het model kan inspireren en helpen dingen te ontdekken die soms algemene eigenschappen zijn, maar omdat je ze niet kunt berekenen, weet je niet dat ze bestaan en de kans is dan klein dat je zoiets toevallig zult meten.”

Het bekendste resultaat van deze aanpak is de berekening van de viscositeit van het quarkgluonplasma. In Brookhaven zijn met de RHIC-versneller experimenten gedaan met botsende zware kernen, waarbij de faseovergang naar een quarkgluonplasma op-



Juan Maldacena tijdens zijn lezing op FOM@Physics 2012. Foto: Bram Saeys.

trad. Maldacena: “Quarkgluonvloeistof zou overigens een betere naam zijn, omdat in een plasma de deeltjes bijna vrij van elkaar voorkomen, en in dit geval zijn de deeltjes sterk gekoppeld. Het is heel lastig om met gewone technieken van de storingstheorie in quantumchromodynamica (QCD) te berekenen wat er in deze nieuwe toestand van materie gebeurt. Nu beschouwen we exact dezelfde fysische setup in een theorie die behalve gluonen, ook supersymmetrische fermionische partners heeft van de gluonen – een speelmodel dus, met het voordeel dat het exact oplosbaar is. Op deze manier vonden we een getal voor de viscositeit dat erg klein is. En inderdaad is in de experimenten met de RHIC-versneller gezien dat dat klopt. Dit speelmodel gaf een resultaat dat niet veel afwijkt van wat je in realiteit kunt meten. Andere dingen die zo berekend waren, bleken onjuist, maar voor de viscositeit klopte het.”

### Nederlandse collega's

Waren je oorspronkelijke ideeën geïnspireerd door werk van Gerard 't Hooft?

“Jawel, Gerard 't Hooft verbond ijktheorieën aan snaartheorieën. Hij had een mooie redenering: als je een theorie van gluonen beschouwt, die een groot aantal kleuren hebben (in QCD hebben ze er maar drie), dan kunnen die theorieën eigenschappen hebben die zich gedragen als een tien-dimensionale snaartheorie. Dat was

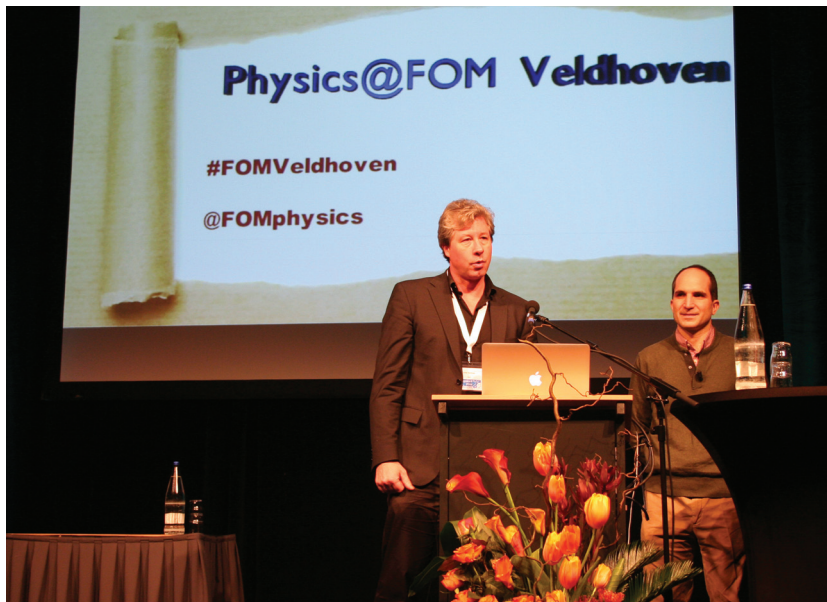
voor mij belangrijk, en het was iets dat velen heeft beïnvloed. In de jaren negentig waren we op zoek naar wat snaartheorie eigenlijk was. Het leek erop dat het anders uitpakte dan de tiendimensionale snaartheorie van de jaren zeventig en tachtig.

De holografie waar 't Hooft ook aan werkte is hieraan gerelateerd, maar ik moet zeggen dat ik in die tijd niet in die richting dacht. Vooral zijn andere idee over de verbinding tussen snaren en ijktheorie heeft mij beïnvloed.”

Maldacena werkte in het verleden samen met Robbert Dijkgraaf en Erik Verlinde. Hij kijkt uit naar de komst van Robbert Dijkgraaf als directeur van het Institute of Advanced Studies in Princeton en misschien gaat hij opnieuw met hem samenwerken. Collega Erik Verlinde verzorgde de introductie van Maldacena in Veldhoven.

Wat vind je van Erik Verlindes zwaartekrachttheorie?

“Ik ben het totaal met hem eens over het idee van zwaartekracht als emergent fenomeen. Dat is een groot thema geweest in de snaartheorie, waar Erik zelf ook aan gewerkt heeft. Nu probeert Erik het proces van emergentie te beschouwen op een manier onafhankelijk van alle details van snaartheorie. Dat is een heel interessant idee, maar ik heb het niet goed genoeg begrepen om te zeggen of het al dan niet werkt. Hij zegt dat donkere materie wellicht niet bestaat, het verschijnsel



Erik Verlinde introduceert Juan Maldacena. Foto: Claud Biemans.

kan volgens hem op een andere manier veroorzaakt worden. Dat zou zeer interessant zijn als het correct is. Hij heeft ons in het verleden verrast, dus misschien doet hij dat nu weer.”

### Experimenten?

Erik Verlinde zegt dat hij voorstellen wil doen voor experimenten. Zijn er veel snaartheoretici die dat doen?

“Er zijn verschillende manieren waarop snaartheorie kan raken aan experimenten. Dat kan op de traditionele manier, waarin snaartheorie beschouwd wordt als een theorie van vierdimensionale quantumzwaartekracht, waarvan het standaardmodel, of een supersymmetrische versie daarvan, in grote lijnen kan worden afgeleid. Er zijn vele manieren waarop je van de tien dimensies van snaartheorie kunt gaan naar de vier dimensies die wij zien. Er worden verschillende wegen verkend om te zien of er generieke voorspellingen afgeleid kunnen worden. Binnen een bepaalde klasse van modellen is dat mogelijk en kun je voorstellen doen voor experimenten.

De andere manier is via de dualiteit tussen ijktheorieën en zwaartekracht, die je bijvoorbeeld kunt gebruiken voor het modelleren van een quarkgluonplasma. Hier wordt het voornamelijk gebruikt als speelmodel, omdat de precieze zwaartekrachtdualiteit van QCD onbekend is. We kennen alleen de beschrijving van de zwaartekracht voor een theorie die op QCD lijkt, zie de analogie die ik schetste over het helium- en waterstofatoom. QCD is het heliumatoom en wat we kunnen be-

schrijven is het waterstofatoom.”

In het NTvN van april vorig jaar vatte Jan Zaanen de status van snaartheorie samen als “een theorie van (wiskundige) antwoorden op zoek naar (fysische) vragen”.

“Dat vind ik een beetje onrechtvaardig. Ik zie snaartheorie als prachtige wiskunde, geïnspireerd door de fysica. Het is een extrapolatie van de natuurkunde die we kennen. We brengen de natuurkunde naar extreme limieten en daar kunnen we berekeningen uitvoeren met behulp van snaartheorie. En helaas is de wiskunde die we hiervoor gebruiken niet goed genoeg om contact te maken met experimenten.

Het gebeurt vaker in de natuurkunde dat dingen die makkelijk te berekenen zijn, heel lastig te meten zijn. Alain Aspect beschreef gisteren in zijn lezing de experimenten met een enkel foton, die heel makkelijk beschreven kunnen worden met de wetten van de quantummechanica. Maar ze zijn extreem moeilijk om uit te voeren. Die experimenten zijn gedaan in de jaren tachtig en niet in de jaren twintig toen de theorie er al was. Met die situatie zitten we nu ook in de snaartheorie. Het is makkelijk om eigenschappen te beredeneren van quantumzwaartekracht in tien dimensies. Maar het is erg moeilijk om een stukje universum te maken met deze tien dimensies. Experimentatoren hebben geen idee hoe ze dat moeten aanpakken”, lacht hij.

“Aan de andere kant zijn experimenten die we in ons vierdimensionale laboratorium doen moeilijk met een tiendimensionale snaartheorie te be-

rekenen omdat er zoveel mogelijkheden bestaan om van vier naar tien dimensies te komen, dat is zoeken naar een speld in een hooiberg. We weten niet hoe dat moet.”

Dat is een veelgehoord commentaar op snaartheorie; er zijn eindelijk veel variabelen die je kunt aanpassen tot de theorie klopt.

“Het probleem is dat we geen precieze voorspellingen kunnen doen. Misschien hangt onze vierdimensionale natuurkunde wel af van de geschiedenis van de kosmologie, analoog aan de invloed van alle toevallige gebeurtenissen in het verleden op de biologie. Je kunt echter niet aanwijzen wat zo’n historische gebeurtenis geweest is. Als we meer weten kunnen we hopelijk tot concrete voorspellingen komen, en die komen misschien op een onverwachte manier.

Ik belicht graag punten vanuit de geschiedenis van de natuurkunde. Een voorbeeld is de uitdijning van het universum, een van de meest spectaculaire voorspellingen van algemene relativiteit. De expansie van ruimtetijd is enorm, extremer dan enig ander effect dat ik ken, of andere fenomenen in algemene relativiteit. De temperatuur van het universum ging daardoor van hoger dan de QCD-faseovergang naar heel laag. We hebben direct bewijs voor de hoge temperatuur van het jonge universum, die was zo hoog dat alle chemische elementen konden ontstaan. Maar Einstein herkende dit meest extreme effect van algemene relativiteit niet als een voorspelling, hij dacht dat hij zich vergiste. Het was niet het meest voor de hand liggende effect dat de theorie voorspelde, maar het was wel het makkelijkst te meten. Het meest voor de hand liggende resultaat van algemene relativiteit, zwaartekrachtsgolven, is nog niet waargenomen, tenminste niet direct, maar expansie van het universum wel.”

“Er kunnen andere dingen zijn die we nu niet herkennen als problemen die door een snaartheorie aangepakt kunnen worden. Misschien dat Erik Verlinde nu op iets dergelijks is gestoten. Persoonlijk ben ik wat sceptisch... ach, ik begrijp hem niet goed. Ik ben sceptisch en verrast, net als anderen.” Hij lacht. “Hopelijk is de echte test voor snaartheorie iets dat we nu *for granted* nemen. We begrijpen alleen nog niet dat dat het probleem is dat door de snaartheorie verklaard gaat worden.”