

Quantumzwaartekracht vanaf de rand

Op 20 juni promoveert QU-redacteur Suzanne Bintanja op haar proefschrift 'Quantum Gravity from the Boundary: Holographic properties of symmetric product orbifolds'. In het proefschrift beschrijft Suzanne het onderzoek dat ze in de afgelopen vier jaar deed naar modellen die de quantumzwaartekracht in ons heelal zo goed mogelijk beschrijven. In dit artikel, gebaseerd op de populairwetenschappelijke samenvatting van het proefschrift, legt Suzanne uit waarover haar onderzoek precies ging.



Afbeelding 1. Quantumzwaartekracht vanaf de rand. Detail uit de voorkant van het proefschrift.

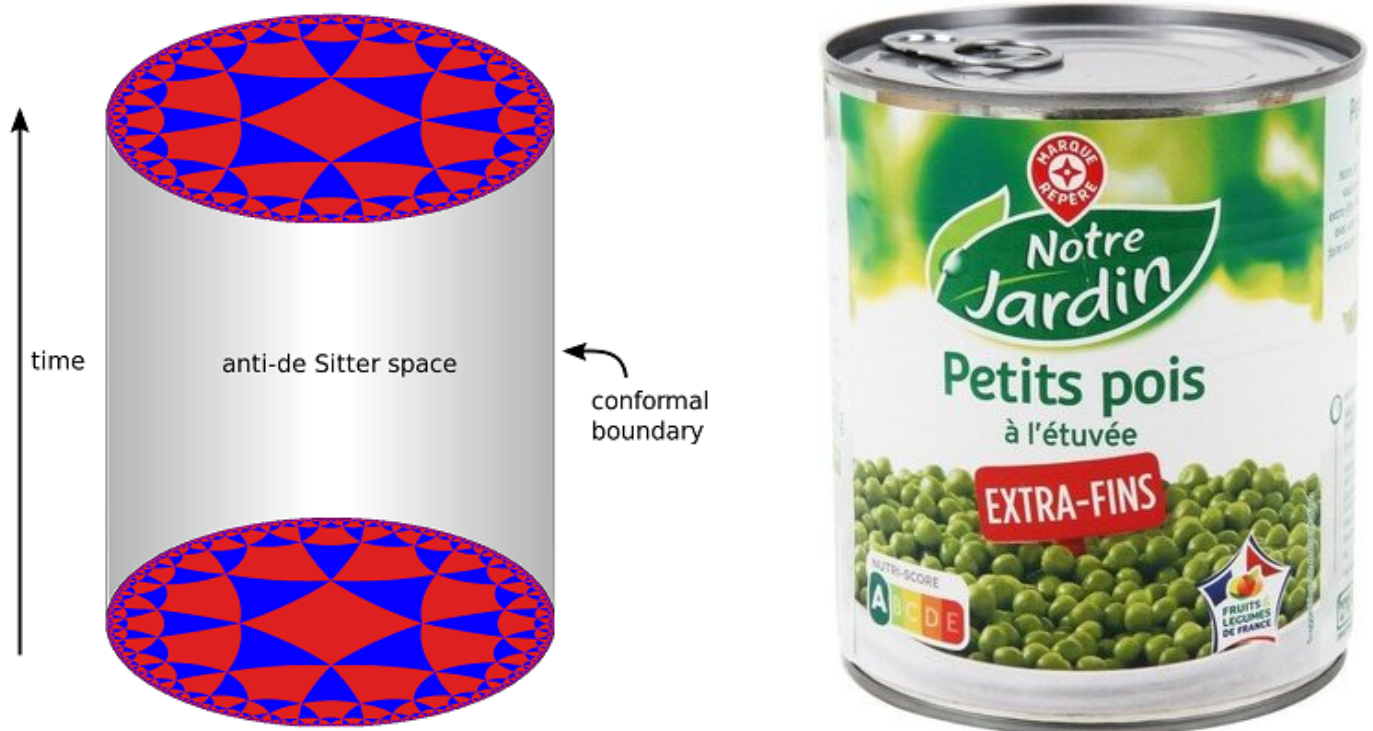
Een van de belangrijkste openstaande problemen in de theoretische natuurkunde betreft een theorie van alles. Zo'n theorie zou een universeel principe geven dat alle fenomenen

verklaart die we in ons universum waarnemen. Het moderne raamwerk waarin interacties tussen deeltjes worden beschreven, is de [quantumveldentheorie](#). Alle waargenomen deeltjes passen op een zelfconsistente manier in de quantumveldentheorie die het [standaardmodel van de deeltjesfysica](#) wordt genoemd. Het is tot nu toe erg lastig gebleken om zwaartekracht ook in dit raamwerk op te nemen.

Zwaartekracht kan met grote precisie worden beschreven met Einsteins theorie van de [algemene relativiteit](#). Zwaartekracht is anders dan de fundamentele krachten die de interacties tussen deeltjes beschrijven: de elektromagnetische kracht, en de sterke en zwakke kernkrachten. Volgens Einsteins theorie kunnen we zwaartekracht zien als de vervorming van ruimte en tijd onder de invloed van massa. Gegeven een verdeling van massa, kan de vorm van ruimtetijd worden bepaald aan de hand van bepaalde niet-lineaire differentiaalvergelijkingen die, toepasselijk, [Einsteins vergelijkingen](#) heten.

De algemene relativiteitstheorie is een klassieke theorie: een theorie waarin de quantummechanica geen rol speelt. De inherente onzekerheid als gevolg van de quantumeigenschappen van alle deeltjes in het standaardmodel is daarmee lastig te verenigen. [Onzekerheid](#) in de positie en massa van deeltjes in combinatie met de niet-lineaire Einsteinvergelijkingen leidt tot onvoorspelbaarheid van de algemene relativiteit wanneer quantumeffecten worden meegenomen. Als quantumtheorie verliest de algemene relativiteitstheorie daardoor haar betekenis.

Voor zwaartekrachttheorieën met een negatieve [kosmologische constante](#), wat inhoudt dat de expansie van ruimtetijd vertraagt, begrijpen we quantumzwaartekracht dankzij het [holografische principe](#). Quantumzwaartekracht in zulke hypothetische universa, die Anti-de Sitter (AdS) universa genoemd worden, kan even goed beschreven worden door een speciale quantumtheorie zonder zwaartekracht in één dimensie minder. Zulke quantumtheorieën zijn invariant onder conforme of hoekbehoudende transformaties en worden daarom ook wel [conforme veldentheorieën](#) of CFTs genoemd. De cruciale eigenschap van AdS-universa is dat deze een natuurlijke rand hebben. Dit is een gevolg van het gegeven dat de expansie van ruimtetijd binnen eindige tijd zijn maximum bereikt. Deze rand maakt het mogelijk dat elke vraag over quantumzwaartekracht in een AdS-universum vertaald kan worden naar een vraag in de corresponderende CFT die op de rand is gedefinieerd.



Afbeelding 2. Anti-de Sitterruimte. Links: de Anti-de Sitterruimte. We geven hier één tijddimensie en twee ruimtelijke dimensies weer. De hoogte stelt de tijd voor, dus op ieder tijdstip ziet de toestand van universum eruit als een schijfje, hier met blauw en rood ingekleurd. Rechts: een blik erwten als een analogie voor de AdS/CFT-correspondentie. Aan de buitenkant zie je direct wat er zich binnenin bevindt. Afbeelding links: [Alex Dunkel/Polytope24](#). Afbeelding rechts: [scamark/Open Food Facts](#).

Het perspectief dat in het proefschrift genomen wordt, is dat elke CFT een theorie van quantumzwaartekracht definieert aan de hand van de AdS/CFT-correspondentie. Niet elke zwaartekrachttheorie die zo is gedefinieerd, is echter een theorie die overeenkomt met zwaartekracht zoals we die in ons universum observeren. Generiek zijn de quantumeffecten groot, en is de theorie niet lokaal. Dit betekent dat interacties niet alleen plaatsvinden als deeltjes dicht bij elkaar zijn, maar ook als ze ver van elkaar verwijderd zijn. CFTs waarin de corresponderende zwaartekrachttheorie wél lijkt op de zwaartekracht die we observeren in ons universum, wat wil zeggen dat op grote ruimteschalen de algemene relativiteitstheorie een goede benadering is, zijn erg bijzonder, en deze noemen we *holografische CFTs*. Zulke holografische CFTs moeten voldoen aan extra criteria. Hoewel zulke criteria de mogelijke theorieën beperken, heeft dit perspectief voordelen, want het splitst de kwestie van quantumzwaartekracht op in behapbare deelvragen. Wat zijn de essentiële criteria waar holografische CFTs aan moeten voldoen? Welke CFTs voldoen aan die criteria? Wat zijn

universele en niet-universele eigenschappen van holografische CFTs? In het proefschrift wordt vooruitgang geboekt in het beantwoorden van deze vragen voor een specifieke verzameling van CFTs: de zogeheten *symmetric product orbifolds*.

Symmetric product orbifolds hebben een aantal eigenschappen die een holografische interpretatie vergemakkelijken. In de duale zwaartekrachttheorie kunnen quantumeffecten klein worden gemaakt, en zijn de deeltjes die de zwaartekracht overbrengen consistent met een beschrijving in de vorm van algemene relativiteit. Symmetric product orbifolds hebben echter ook minder aantrekkelijke eigenschappen. De bijbehorende zwaartekrachttheorie is niet lokaal en kan daarom niet beschreven worden door een quantumveldentheorie gekoppeld aan algemene relativiteit. Dit sluit symmetric product orbifolds als holografische CFTs uit. De symmetrische structuur van symmetric product orbifolds laat echter kleine vervormingen toe: de zogeheten *exact marginale deformaties*. Dit betekent dat we deze theorie op een consistente manier kunnen deformereren, en mogelijk zo wél een holografische CFT kunnen vinden.

Het bestaan van exact marginale deformaties geeft aanleiding tot een zogenaamde *conforme variëteit*; een soort landschap waar elk punt in het landschap een CFT voorstelt. Het onderzoek dat in het proefschrift wordt beschreven richt zich op het zoeken naar aanwijzingen voor de aanwezigheid van een holografische CFT op deze conforme variëteit aan de hand van de symmetric product orbifold-theorie waar we mee beginnen. De belangrijkste conclusie is dat de holografische eigenschappen van conforme variëteiten niet universeel zijn, maar afhangen van de details van de symmetric product orbifold-theorieën.

Wie geïnteresseerd is kan alles lezen over de details van het onderzoek in [Suzannes proefschrift](#). De [verdediging van het proefschrift](#) vindt plaats op 20 juni, in de Aula van de Universiteit van Amsterdam.