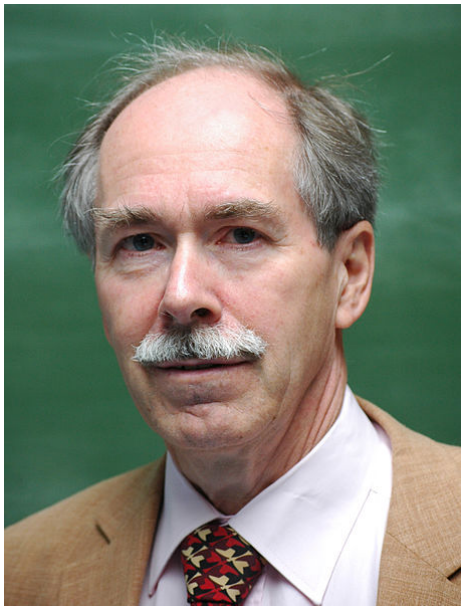
Gerard't Hooft 70 jaar

Op 5 juli van dit jaar vierde de Nederlandse Nobelprijswinnaar Gerard ’t Hooft zijn 70e verjaardag. Komende woensdag wordt ter gelegenheid daarvan in Utrecht een wetenschappelijk mini-symposium gehouden. Een goede aanleiding voor de Quantum Universe-redactie om eens terug te blikken op een aantal van de belangrijkste prestaties van deze veelzijdige natuurkundige.



Afbeelding 1. Gerard ’t Hooft.De Nederlandse Nobelprijswinnaar werd op 5 juli 70 jaar.

Renormalisatie van ijktheorieën

De natuur kent vier fundamentele krachten: de zwaartekracht, de elektromagnetische kracht en de sterke en de zwakke kernkracht. De laatste drie krachten zijn verenigd in het Standaardmodel van de elementaire deeltjes, waarmee vrijwel alle verschijnselen die we op subatomair niveau waarnemen kunnen worden beschreven. De wiskundige modellen die deze drie microscopische krachten beschrijven, worden samen ook wel de *ijktheorieën* genoemd.

Het standaardmodel is een quantummechanische theorie. Zoals we op deze site al eens

beschreven hebben, is de wiskunde achter de quantummechanica niet zo eenvoudig als die van de klassieke natuurkunde. In één quantummechanisch proces spelen oneindig veel klassieke processen een rol. Al die klassieke processen vinden als het ware tegelijk plaats, en moeten dus ook meegewogen worden als we de uitkomst van een quantumproces willen bepalen.

De lastige wiskunde waartoe dit leidt, stelde de natuurkundigen in de begindagen van de ijktheorieën voor de nodige problemen. Wanneer de rekenregels van de quantummechanica op naïeve wijze op de ijktheorieën worden toegepast, leiden de berekeningen vaak tot oneindig grote, onrealistische uitkomsten. Voor één van de drie ijktheorieën, die van de elektromagnetische kracht, werd dit probleem in 1940 opgelost door Sin-Itiro Tomonaga, Julian Schwinger en Richard Feynman. Zij wonnen hiervoor in 1965 de Nobelprijs.

Voor de kernkrachten bleek de te nemen wiskundige horde echter veel groter. Pas in 1972 werd deze horde genomen, door Gerard ’t Hooft, toen nog promovendus, en zijn promotor, Martinus Veltman. ’t Hooft en Veltman ontwikkelden een wiskundige manier om de ijktheorieën van de sterke en zwakke kernkracht te ‘renormaliseren’ – oftewel: van oneindigheden te ontdoen. Ook deze grote doorbraak was een Nobelprijs waard:’t Hooft en Veltman kregen die in 1999.



Afbeelding 2. De Nobelprijs.In 1999 wonnen ’t Hooft en Veltman de Nobelprijs voor hun werk aan de renormalisatie van ijktheorieën.

Quantumchromodynamica met een groot aantal kleuren

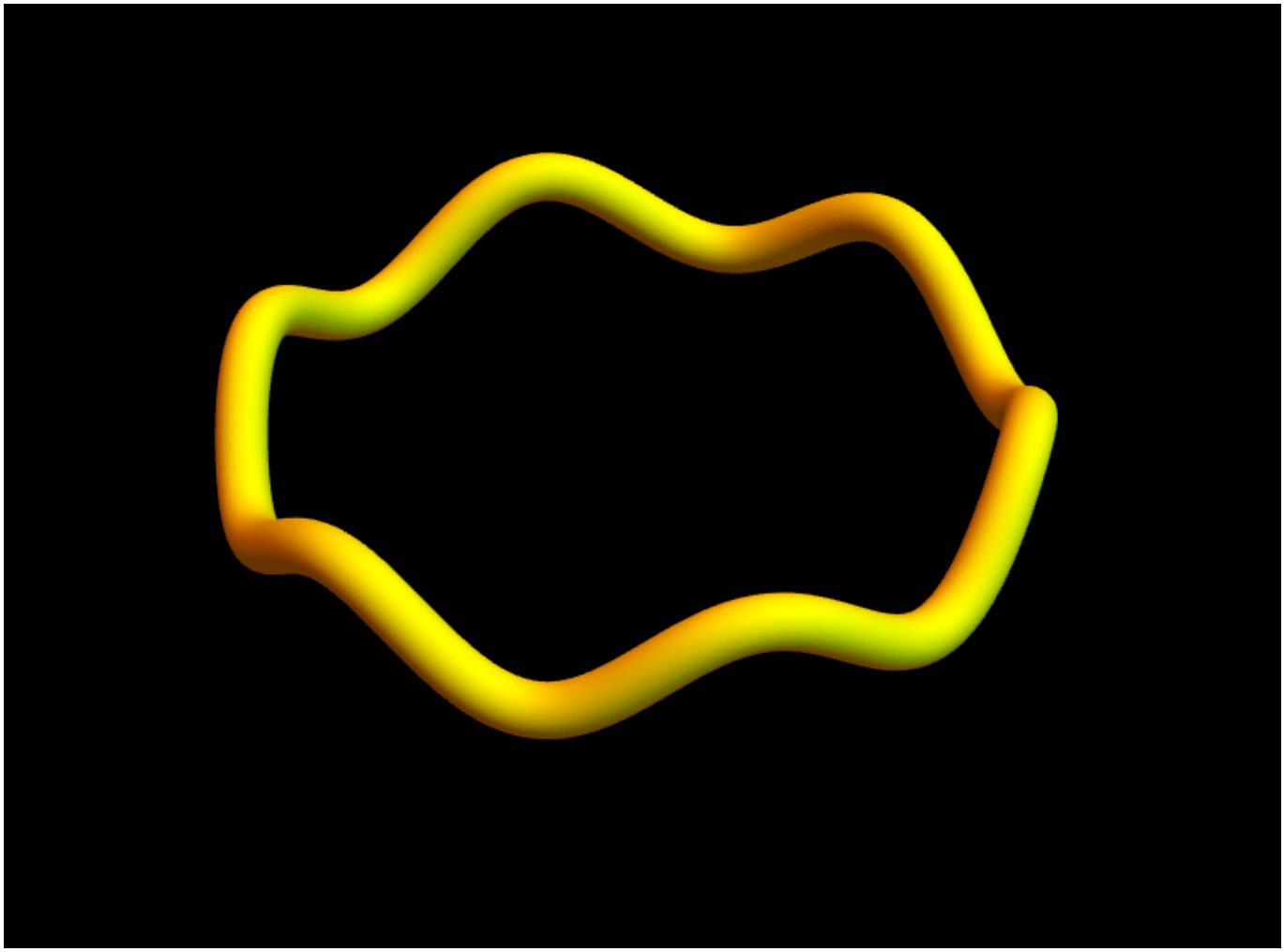
Hoewel de ijkkrachten met behulp van de renormalisatieprocedure van ’t Hooft en Veltman nu in principe wiskundig onder controle waren, waren veel berekeningen in de praktijk nog altijd erg lastig. De uitkomsten van allerlei processen, met name die waarin de sterke kernkracht een rol speelt, waren weliswaar in een eerste benadering goed te berekenen, maar het uitrekenen van verdere correcties op die eerste benadering bleek erg lastig.

’t Hooft ontdekte dat een van de oorzaken van dit probleem was dat de theorie van de sterke kernkracht gebruik maakt van quarks – bouwstenen voor deeltjes zoals protonen en neutronen – met drie verschillende soorten lading. Die ladingtypes werden door natuurkundigen ook wel ‘kleuren’ genoemd: de quarks konden ‘rood’, ‘groen’ of ‘blauw’ geladen zijn. Het Griekse woord voor kleur is ‘chromos’; de theorie voor de sterke kernkracht wordt daarom ook wel de *quantumchromodynamica* genoemd.

Uit ’t Hoofts analyse bleek dat de berekeningen veel eenvoudiger werden als hij de onrealistische aanname deed dat er veel meer kleurladingen waren: tien, honderd, of duizend in plaats van drie. Hoe groter het fictieve aantal kleuren, hoe eenvoudiger de berekeningen werden.

Dat bracht hem op het volgende idee: het was dus mogelijk om de uitkomsten van processen in de quantumchromodynamica eerst uit te rekenen voor het extreem onrealistische geval waarin er oneindig veel kleurladingen waren, en vervolgens dat antwoord te corrigeren voor het daadwerkelijke aantal kleuren, dus 3. Op deze manier ontstond een nieuwe reeks van correcties, die veel eenvoudiger door te rekenen was.

Een interessante bijkomstigheid was dat deze nieuwe reeks van correcties heel sterk leek op een serie correcties die in een heel andere, rond diezelfde tijd ontdekte theorie de kop op stak: de snaartheorie. Quantumchromodynamica met een oneindig aantal kleuren bleek precies dezelfde natuurkunde te beschrijven als een snaartheorie! Deze ontdekking zou veel later een belangrijke rol gaan spelen in de AdS/CFT-correspondentie die we op deze website al uitgebreid besproken hebben.



Afbeelding 3. Een snaar.’t Hooft ontdekte dat een theorie van quarks met oneindig veel kleurladingen niets anders is dan een theorie van trillende snaren.

Het holografisch principe

Hoeveel informatie kun je opslaan in een bepaald stuk ruimte? Het antwoord op die vraag ligt niet direct voor de hand, maar één ding lijkt duidelijk: als het stuk ruimte twee keer zo groot wordt, en het volume ervan dus 2 x 2 x 2 = 8 keer zo groot, zou je verwachten dat je in die ruimte ook acht keer zoveel informatie kan opslaan. In een acht keer zo groot magazijn kun je immers ook acht keer zoveel potloden, voetballen of koffiemokken opslaan.

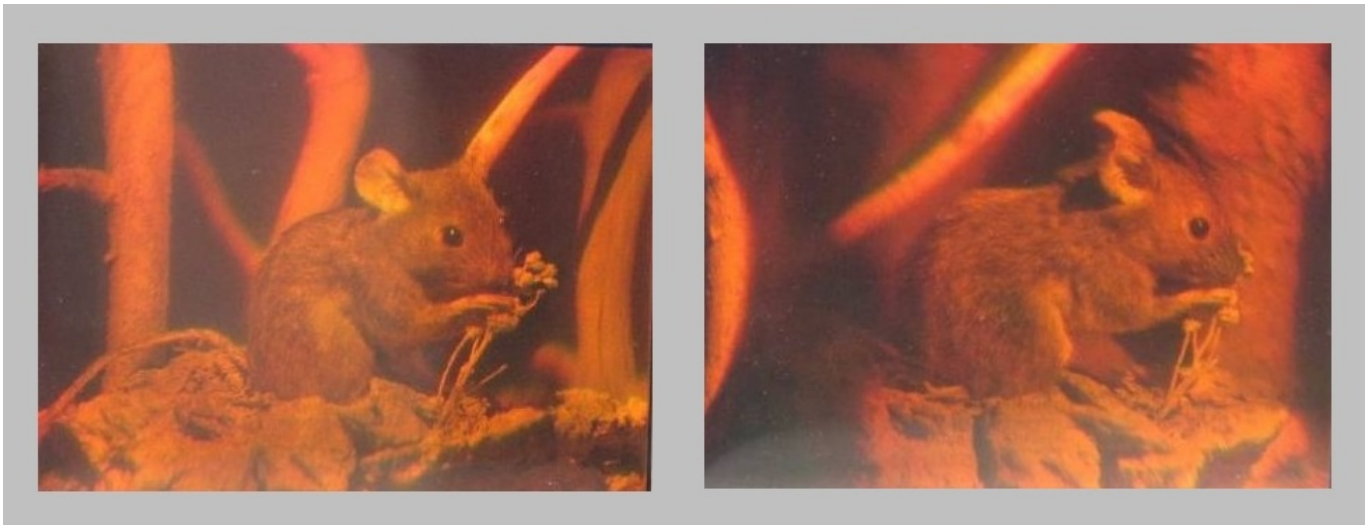
Vreemd genoeg blijkt deze voor de hand liggende conclusie onjuist te zijn. Dit bleek al in de jaren ’70 uit een studie van Stephen Hawking en Jacob Bekenstein naar de hoeveelheid informatie die in een zwart gat opgeslagen is. Als het zwarte gat twee keer zo groot wordt, en het volume ervan dus acht keer, blijkt de hoeveelheid informatie die het zwarte gat bevat

geen acht maar *vier* keer zo groot te worden!

In 1993 redeneerde ’t Hooft op basis van deze conclusie nog een belangrijke stap verder. Het eerste ingrediënt daarbij was eenvoudig: als een zwart gat twee keer zo groot wordt, wordt zijn volume weliswaar acht keer zo groot, maar het *oppervlak* van het zwarte gat maar vier keer. Het is dus alsof de informatie die een zwart gat bevat ‘precies past’ op de rand ervan.

Vervolgens redeneerde ’t Hooft: een zwart gat is niet zomaar een natuurkundig systeem – het is precies dat systeem waarin de materie, en dus de informatie, zo dicht mogelijk op elkaar gepakt zit. Met andere woorden: de hoeveelheid informatie die een zwart gat bevat, is een *bovengrens* voor de hoeveelheid informatie die een even groot willekeurig stuk ruimte kan bevatten.

Als die bovengrens afhangt van het oppervlak van het stuk ruimte, zo redeneerde ’t Hooft, dan zou het dus mogelijk moeten zijn om een natuurkundige theorie waarin de zwaartekracht een rol speelt (zodat er zwarte gaten gevormd kunnen worden) te herformuleren als een theorie op de *rand* van de ruimte, dus in één dimensie minder! Dit principe, dat door Leonard Susskind verder werd uitgewerkt voor de snaartheorie in het bijzonder, staat sindsdien bekend als het *holografisch principe*. Sinds 1998 zijn ook diverse expliciete voorbeelden bekend van modellen mét zwaartekracht die hergeformuleerd kunnen worden als modellen in één dimensie minder zónder zwaartekracht. Het holografisch principe speelt daarmee een centrale rol in de moderne theoretisch natuurkunde – zie bijvoorbeeld het uitgebreide dossier dat we eerder over het idee van holografie schreven.



Afbeelding 4. Een hologram.In een hologram wordt driedimensionale informatie opgeslagen op een tweedimensionaal oppervlak. ’t Hooft stelde voor dat voor elke theorie waarin de zwaartekracht voorkomt een soortgelijk gedrag vertoont.

…en nog veel meer

We hebben hierboven drie belangrijke bijdragen beschreven die Gerard ’t Hooft aan de theoretische natuurkunde heeft geleverd. De totale lijst van zijn bijdragen is nog veel langer. Zo heeft ’t Hooft gewerkt aan quantumverschijnselen die op heel specifieke locaties (‘solitonen’) of tijdstippen (‘instantonen’) plaatsvinden – het beroemdste voorbeeld daarvan staat tegenwoordig bekend als de ’t Hooft-Polyakov-monopool. Ook heeft hij allerlei bijdragen geleverd aan de theorie van zwarte gaten, en bijvoorbeeld aan de studie van de vraag wat er zich precies op de rand van een zwart gat afspeelt. Tegenwoordig is hij onder meer geïnteresseerd in de fundamentele aspecten van de quantummechanica, en de vraag of die quantummechanica zélf wel een fundamentele theorie is, of gebaseerd is op een nog dieper onderliggend principe.

Kortom: we kunnen Gerard ’t Hooft met recht een van de meest vooraanstaande en productieve Nederlandse natuurkundigen noemen. Zijn 70e verjaardag is een mooie gelegenheid om eens bij al zijn prestaties stil te staan. Ook namens de QU-redactie daarom: van harte gefeliciteerd!