De kracht van symmetrie

Op 20 september verdedigde UvA-promovendus Stathis Vitouladitis op zijn proefschrift “Topological aspects of the gapless and the gapped”. In het proefschrift beschrijft hij de bijzondere kracht van symmetrieën – en generalisaties daarvan – in de theoretische natuurkunde. In dit artikel vat Stathis zijn werk kort samen.



Symmetrie is een fundamenteel organiserend principe van de natuur, en daarmee van de theoretische fysica. Fysische verschijnselen worden gekarakteriseerd door hun symmetrieën en hoe zij deze representeren. In de studie van de quantumveldentheorie (QFT) worden de symmetrieën van een fysisch systeem in verband gebracht met behouden grootheden, zoals energie, impuls of het aantal deeltjes in een bepaald gebied. Recent is ontdekt dat het begrip symmetrie op verschillende manieren kan worden gegeneraliseerd. Centraal in deze ontwikkeling staat het feit dat symmetrie nauw verbonden is met topologie.

Een bijzonder belangrijke generalisatie is de *hogere-vormsymmetrie*. Deze generalisatie betreft behouden grootheden van hogerdimensionale objecten, zoals het aantal lijnen dat een oppervlak doorboort. Hogere-vormsymmetrieën zijn aanwezig in vele belangrijke theorieën, zoals elektromagnetisme en het standaardmodel van de deeltjesfysica.

Een andere belangrijke generalisatie is die van niet-inverteerbare symmetrieën. Dit type symmetrie is enigszins esoterisch omdat de symmetriebewerking niet ongedaan kan worden gemaakt. Desalniettemin vinden dergelijke symmetrieën toepassingen in verschillende modellen, in het bijzonder in het kritische Ising-model, dat het gedrag op lange afstand van veel fysische systemen beschrijft.

Dergelijke *gegeneraliseerde symmetrieën* bieden nieuwe organiserende en leidende principes voor de theoretische fysica. Mijn proefschrift richt zich op het benutten van de kracht van gegeneraliseerde symmetrieën om universele resultaten te verkrijgen in de quantumveldentheorie en de fasen van materie. De belangrijkste bevindingen van het proefschrift vallen in twee categorieën. Ten eerste, het verkrijgen van universele maatstaven van verstrengeling in topologisch geordende systemen en topologische quantumveldentheorie (TQFT), met een willekeurig aantal dimensies en een willekeurige topologie. Ten tweede, het verduidelijken van de onderliggende structuur van conforme veldentheorieën (CFT's), met een bijzondere nadruk op zogeheten *niet-lokale operatoren*.

Topologische ordening

Vanuit het perspectief van de theorie van gecondenseerde materie ontstaan TQFT's als effectieve beschrijvingen van topologisch geordende systemen voor lage energieën. Een fysisch mechanisme voor topologische ordening in twee ruimtedimensies en één tijddimensie is de condensatie van netwerken van lijnoperatoren, bekend als *snaar-net-condensatie*. In hogere dimensies geven analoge modellen – condenseerbare netwerken van p-dimensionale oppervlak-operatoren – aanleiding tot topologisch geordende grondtoestanden – toestanden van het systeem met de laagst mogelijke energie. Deze voorbeelden zijn nauw verbonden met gegeneraliseerde symmetrieën, aangezien de studie van de symmetrieën van deze systemen een beschrijving geeft van modellen die bekend staan als 'deconfined' discrete ijktheorieën. Het langeafstandsgedrag van deze modellen wordt beschreven door een specifieke topologische quantumveldentheorie, bekend als *p-vorm BF-theorie*. Bovendien

komen topologische ordeningen overeen met, en worden zij geclassificeerd door, verschillende patronen van verstrengeling. Dit wordt het duidelijkst geïllustreerd door de *topologische verstrengelingsentropie*. Het begrijpen van verstrengelingspatronen in p-vorm BF-theorie geeft directe toegang bij lage energieën tot een systematisch begrip van topologische ordening in hogere dimensies. Dit is de belangrijkste motivatie voor de hoofdstukken 2 en 3 van mijn proefschrift.



Stathis bepleit de kracht van symmetrie.

Conforme veldentheorie

In tegenstelling tot de hierboven genoemde discrete theorieën zijn ‘deconfined’ fasen van een andere klasse van modellen, *(hogere-)ijktheorieën met continue ijkgroepen*, kloofloos – dat wil zeggen: er bestaan toestanden met een energie die een willekeurig klein beetje boven die van de grondtoestand ligt. Dit feit is wederom onderbouwd door gegeneraliseerde symmetrieën. In het bijzonder kunnen dergelijke fasen worden begrepen als spontaan symmetriebrekende fasen van hogere-vorm globale symmetrieën. Het meest prominente voorbeeld hiervan is het elektromagnetisme, dat op deze manier een verklaring geeft voor de

massaloosheid van het foton – het lichtdeeltje – in onze wereld.

In specifieke dimensies worden deze kloofloze fasen bovendien conform. De combinatie van conforme invariantie met gegeneraliseerde symmetrieën blijkt extreem krachtig te zijn en leidt tot universele uitspraken over de structuur van conforme veldentheorie. Deze ideeën vormen grotendeels de motivatie voor hoofdstuk 4 van mijn proefschrift.

Nieuwsgierig geworden naar het volledige proefschrift dat Stathis schreef? De tekst van het proefschrift is hier te downloaden.