

Quantumstructuur van ruimte en tijd

Ruimte en tijd ervaren we in het leven van alledag als een gelijkmatig, leeg en structuurloos continuüm. Zetten we een puntvormig object in de ruimte, dan specificeren we drie getallen of coördinaten. Een vierde getal, tijd, moeten we vastleggen op het moment dat het object een gegeven ruimtelijke positie heeft. Tijd en ruimte zijn absoluut en onveranderlijk: ruimte wordt niet beïnvloed door objecten die we er in zetten en tijd is een universele klok die overal op dezelfde constante en gelijke manier wegtikt.

Dit klassieke beeld van ruimte en tijd veranderde aanzienlijk met de Speciale Relativiteitstheorie die ons leerde dat er uiteindelijk geen van de waarnemer onafhankelijke verdeling tussen tijd en ruimte is, en dat de vierdimensionale vereniging van ruimte-tijd een fundamentele eenheid is. Wanneer de zwaartekracht wordt genegeerd is deze ruimte-tijd een vlakke Minkowski-ruimte die dienst doet als een onveranderlijke achtergrondgeometrie voor alle relativistische quantumveldtheorieën. Net als in de klassieke Newtonse fysica wordt ruimte-tijd zelf niet beïnvloed door materie en velden die er doorheen bewegen.

Deze beschrijving van ruimte-tijd heeft een beperkt geldigheidsbereik. Volgens de Algemene Relativiteitstheorie van Einstein

produceert elke vorm van materie of energie een zwaartekrachtsveld dat invloed heeft op de geometrie van de ruimte-tijd waarin het zich bevindt. Het onderzoek in FOM-programma 31 heeft als doel de fundamentele microscopische structuur van ruimte-tijd en de manier waarop de vrijheidsgraden van zwaartekracht en materie wisselwerken op de Planck-schaal (10^{-33} centimeter) te ontrafelen. De onzekerheidsrelaties zorgen er bij zulke kleine afstanden voor dat het bekijken van ruimte-tijd gepaard gaat met grote fluctuaties in de energie of (equivalent) de geometrie.

Een van de grootste uitdagingen van de theoretische fysica is het vinden van de fundamentele quantumvrijheidsgraden die de wild fluctuerende ruimte-tijdgeometrie op de Planck-schaal correct beschrijven en het daaruit afleiden van kwantitatieve beschrijvingen van wisselwerkende systemen van zwaartekracht en materie bij lagere energie. Onderzoek in de Utrechtse werkgroep FOM-U-01 heeft licht geworpen op diverse aspecten van dit probleem door het onderzoeken van modellen van quantum-tijd-ruimte en materie in lagere dimensies. Deze modellen illustreren prachtig hoe niet-triviale quantumgeometrie dynamisch voort kan komen uit niet-perturbatieve opeenstapeling van ruimtetijden die zijn samengesteld uit elementaire discrete bouwstenen.

Figuur 1. Rood heelal: een dynamisch gegenereerd quantumheelal met één tijd- en één ruimtedimensie (horizontaal respectievelijk verticaal). Merk op dat het volume van het een-dimensionale ruimtelijke heelal (gekozen als een compacte cirkel) quantumfluctueert als een functie van de tijd. Bron: K. Anagnostopoulos/J. Ambjorn/R. Loll



Figuur 2. Blauw en geel heelal: dezelfde tweedimensionale quantum-tijd-ruimte, nu gekoppeld aan materievelden. Vrijheidsgraden van materie en zwaartekracht wisselwerken sterk en daardoor krijgt het heelal een compleet andere 'vorm'. Bron: K. Anagnostopoulos/J. Ambjorn/R. Loll



Het doel van het FOM-programma "Fundamental interactions" is het bestuderen van theoretische modellen die gericht zijn op het voorspellen en beschrijven van nieuwe en bestaande experimentele resultaten, het begrijpen van de conceptuele basis van de quantumveldentheorie en zijn symmetrie-eigenschappen in het bijzonder en het bestuderen van de quantummechanische beschrijving van zwaartekracht en de aard van ruimte en tijd. De looptijd van het programma is 1999-2006; het budget voor die periode bedraagt 4,2 miljoen euro.

De leiding van het programma is in handen van prof.dr. P.J.G. Mulders.