

University of Groningen

Seven-branes and instantons in type IIB supergravity

Hartong, Jelle

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

2008

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Hartong, J. (2008). *Seven-branes and instantons in type IIB supergravity*. s.n.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Nederlandse Samenvatting

In de natuur komen deeltjes voor zoals electronen, quarks en neutrino's. De quarks zijn de bouwstenen van protonen en neutronen welke op hun beurt terug te vinden zijn in de kernen van atomen. Om deze kernen heen bevindt zich een wolk van electronen. Neutrino's zijn deeltjes die voorkomen in bijvoorbeeld radioactieve processen wanneer kernen vervallen of wanneer er sprake is van kernfusie (het versmelten van twee kernen). Feitelijk bestaat alle ons bekende materie uit deze drie deeltjes: electronen, quarks en neutrino's. De enige variatie die de natuur ons hierin heeft gegeven (voor zover bekend), is dat voor elk van deze drie deeltjes er twee zwaardere partners bestaan met, afgezien van hun massa, dezelfde eigenschappen.

Deeltjes worden in de natuurkunde beschreven op wiskunde wijze middels het begrip veld. Een veld is simpel gezegd een mathematisch object dat op elk punt in de ruimte bestaat en met behulp waarvan eigenschappen van deeltjes, zoals impuls, energie, elektrische lading en spin (min of meer rotatie van het deeltje) beschreven kunnen worden. Ook interacties tussen deeltjes onderling worden beschreven met behulp van velden. Bijvoorbeeld, twee electronen kunnen interactie met elkaar hebben doordat er een zogenaamd foton, een interactiedeeltje, van het ene electron naar het andere electron gaat. Zo hebben quarks onderling interactie door uitwisseling van zogenaamde gluonen en neutrino's door het uitwisselen van weer andere deeltjes, de zogenaamde W- en Z-bosonen. De precieze wijze waarop electronen, quarks en neutrino's (tezamen met hun iets zwaardere partners) interacties met elkaar hebben, wordt beschreven door het zogenaamde standaard model dat eind jaren zestig, begin jaren zeventig werd opgesteld door Glashow, Salam en Weinberg.

Naast deeltjes en hun interacties is er in de natuur ook sprake van, laat ik zeggen, 'omgeving'. Hiermee bedoel ik de achtergrond waarin deze deeltjes bewegen. Deze achtergrond is het universum waarin we leven of iets abstracter geformuleerd de ruimte-tijd. Einstein heeft rond 1915 voor het eerst duidelijk gemaakt dat deze achtergrond, de ruimte-tijd waarin we leven, dynamisch is. Sterker nog, wat wij ervaren als zwaartekracht, een interactie tussen massa's die wederom wiskundig beschreven wordt door een veld, is niets anders dan vervorming van de ruimte-tijd. Ter vergelijking, een knikker die over een vlak stuk papier rolt, verandert van bewegingsrichting en

snelheid zodra het papier vervormd wordt. Zo ook bewegen deeltjes in ons heelal ten gevolge van vervormingen van de ruimte-tijd. Mathematisch worden deze vervormingen beschreven door wat het zwaartekrachtsveld genoemd wordt.

Hoeveel weten we over ons heelal? Welnu dat is niet bijster veel, maar het is mogelijk gebleken om experimenteel te bepalen wat voor soort energieën er aanwezig zijn. De totale hoeveelheid materie beslaat ongeveer 27% van de totale energie-inhoud. Echter hiervan is slechts 4% standaard modelmaterie. De overige 23% wordt donkere materie genoemd omdat deze vooralsnog nooit direct is waargenomen. Maar misschien nog opzienbarender is de resterende 73% energie die donkere energie wordt genoemd en dus het overgrote deel van de energie-inhoud vormt. De fysische oorsprong voor deze energievorm is nog niet bekend, maar een mogelijke kandidaat ervoor is de zogenaamde kosmologische constante. De aanwezigheid van donkere energie uit zich in het feit dat ons universum versnellend uitdijt.

Een belangrijke eigenschap van de natuur zoals die waargenomen wordt, is dat deze zich gedraagt volgens de wetten van de kwantummechanica. Echter, alhoewel het standaard model een kwantumtheorie is, geldt dit niet voor de theorie van Einstein, de algemene relativiteitstheorie, welke de zwaartekracht beschrijft. Laten we zeggen dat met een kwantumtheorie wordt bedoeld dat de theorie op hele klein schaal, of wat hetzelfde is, bij hele hoge energieën geldig is.

De wetten van de zwaartekracht zoals we die nu kennen (in het bijzonder de wet van Newton), zijn getest tot op ongeveer enkele tientallen micrometers. Tegelijkertijd zijn niet-gravitationele experimenten met behulp van deeltjesversnellers op afstanden van ongeveer 10^{-18} meter (ook wel een attometer genoemd) uitgevoerd.

Het feit dat zwaartekracht nooit rigoreus getest is op afstanden kleiner een micrometer betekent dat we niet weten hoeveel dimensies er zijn op dergelijke afstanden. Aangezien zwaartekracht een manifestie van de ruimte-tijd is, verandert deze als er letterlijk meer ruimte is, d.w.z. meer dimensies zijn. Het is dus mogelijk dat er extra dimensies bestaan die kleiner zijn dan een micrometer. Het is wel zo dat extra dimensies van deze orde zo moeten zijn dat alle andere niet-gravitationele interacties tussen deeltjes zo is dat deze 'blind' zijn voor de extra dimensies. Dit kan gerealiseerd worden in zogenaamde braanwereld scenario's. Dit zijn modellen waarin we verondersteld worden op een kosmologisch grote braan te leven dat beweegt door een ruimte die meer dan drie ruimtelijke dimensies heeft. Een andere mogelijkheid waarin dergelijke branen niet nodig zijn, is dat de extra dimensies simpelweg kleiner zijn dan een attometer. Een eenvoudig voorbeeld is een extra dimensie in de vorm van een cirkel met een omtrek kleiner dan een attometer. Dit klinkt misschien uiterst speculatief. Toch is het belangrijk te beseffen dat er zowel theoretisch als experimenteel geen gronden zijn waarop beweerd kan worden dat de natuur 3 ruimtelijk dimensies heeft (en één tijd dimensie) net zo goed als gebleken is dat de ons bekende materie slechts 4% van een totaal van 27% aan materie beslaat.

Laten we ons afvragen op welke schaal we kunnen verwachten dat kwantumeffecten

van invloed zijn op de zwaartekracht. In de kwantummechanica kunnen massieve deeltjes zich gedragen als iets dat golft. Terwijl in de algemene relativiteitstheorie massieve deeltjes een zwart gat kunnen vormen. Een zwart gat is een gebied in de ruimte-tijd waaruit niets kan ontsnappen. Als nu de grootte van zo'n zwart gat in de ene theorie vergelijkbaar is met de golflengte van hetzelfde deeltje in de andere theorie dan zou het deeltje zich soms binnen en soms buiten het zwarte gat bevinden; iets dat niet kan en dus leidt tot een tegenspraak. Dit blijkt te gebeuren bij afstanden van ongeveer 10^{-35} meter. Dit wordt de Planck schaal genoemd en betekent dat we de ons bekende theorieën niet kunnen gebruiken op afstanden kleiner dan de Planck schaal en misschien al daarvoor.

Het is niet bepaald eenvoudig gebleken om een adequate kwantumtheorie voor de zwaartekracht op te schrijven. Tot op heden bestaat er geen kwantumtheorie voor de zwaartekracht waarmee voorspellingen gedaan kunnen worden over het voor ons waarneembare deel van het heelal. Echter, een wiskundig consistente theorie die kwantumzwaartekracht beschrijft op afstanden kleiner dan de Planck schaal bestaat wel degelijk en deze theorie heet supersnaartheorie of snaartheorie in het kort.

Supersnaartheorie gaat uit van de gedachte dat er snaren bestaan met een typische lengte die gelijk is aan de Planck lengte. Er bestaan twee soorten snaren: open en gesloten snaren. Elke trillingstoestand van een snaar komt overeen met een veld. De laagste trillingstoestanden komen overeen met massaloze velden en de hogere aangeslagen toestanden met massieve velden. De massa's van de massieve velden zijn dermate hoog dat ze geen rol van betekenis spelen bij energieën die waargenomen worden in aardse experimenten of in de kosmologie. We zullen ons dus beperken tot snaren waarvan enkel de laagste trillingstoestanden aangeslagen zijn. De eigenschappen van de velden die door de snaren gegenereerd worden, hangen sterk af van de achtergrond, de ruimte-tijd, waarin de snaren zich bevinden. Door het kiezen van geschikte achtergronden is het mogelijk om deeltjes als electronen, quarks en neutrino's te produceren². Echter, moet hier wel bij opgemerkt worden dat het nog niet is gelukt om electronen, quarks en neutrino's met precies dezelfde eigenschappen als in het standaard model te produceren.

Een andere belangrijke eigenschap van supersnaartheorie is dat er negen ruimtelijke dimensies (en één tijd dimensie) nodig zijn om de theorie consistent te maken. Het is dan ook van belang om snaartheorie op achtergronden te bestuderen die drie ruimtelijke dimensies hebben zoals wij die waarnemen en daarnaast zes ruimtelijke dimensies met de eigenschap dat deze klein zijn, waarbij klein betekent klein genoeg om vooralsnog niet waargenomen te zijn.

Zoals vermeld bestaan er open en gesloten snaren. De open snaren hebben twee eindpunten. Deze eindpunten eindigen altijd op een braan. Een braan is een object in snaartheorie dat een bepaald aantal dimensies heeft. Dit kan variëren van 0, 1 tot

²Ondanks het feit dat velden in snaartheorie massaloos zijn, kunnen velden (lees deeltjes) door interacties wel degelijk massa krijgen.

9 ruimtelijke dimensies waarbij nul dimensies een punt voorstelt. Men spreekt dan van 0-, 1- tot 9-branen. Negen-branen zijn speciaal omdat ze de hele ruimte vullen aangezien er negen ruimtelijke dimensies zijn in snaartheorie. Branen zijn eigenlijk hoger-dimensionale generalizaties van het idee snaar, wat een 1-braan genoemd kan worden. Snaartheorie is dus geenszins een theorie van enkel snaren, maar een theorie van branen. Niet alle branen in snaartheorie hebben de eigenschap dat er een open snaar op eindigt, maar binnen de context van deze thesis is het voldoende om te zeggen dat branen objecten zijn waar open snaren op eindigen. De theorie die de dynamica van de branen beschrijft, wordt bepaald door de laagst energetisch aangeslagen (massaloze) toestanden van de open snaar die op de braan eindigt. Branen spelen een cruciale rol in snaartheoretische modellen voor de beschrijving van materie, interacties en kosmologie.

Er bestaan vijf verschillende versies van snaartheorie welke alle vijf verschillende uitingvormen zijn van één enkele onderliggende theorie die M-theorie genoemd wordt. Om redenen die hier niet nader toegelicht worden is M-theorie gedefinieerd op een achtergrond met tien ruimtelijke dimensies. In vijf speciale limietgevallen laat deze theorie zich beschrijven door één van de vijf snaartheorieën. In deze thesis staat de zogenaamde type IIB snaartheorie centraal. Type IIB snaartheorie is een theorie voor een bepaald type gesloten snaren waaraan open snaren toegevoegd kunnen worden middels het toevoegen van branen aan deze theorie. De eigenschappen van de gesloten snaren van de type IIB theorie houden nauw verband met de wijze waarop supersymmetrie zich in deze theorie manifesteert.

De massaloze velden die door snaartheorie voorspeld worden, worden beschreven door zogenaamde supergravitatietheorieën waarbij de eigenschappen van deze theorieën bepaald worden door de achtergrond (inclusief branen) waarop de snaren bewegen. Het woord supergravitatie ontleend zijn naam aan het feit dat één van de velden altijd het gravitatieveld is en dat de theorie over een bepaald soort symmetrie beschikt die supersymmetrie genoemd wordt. Supersymmetrie houdt in dat er een symmetrie bestaat tussen wat bosonen genoemd wordt en wat fermionen genoemd wordt. Bosonen zijn deeltjes zoals fotonen en gluonen die eerder genoemd werden en interactiedeeltjes zijn. Fermionen zijn materiedeeltjes zoals electronen en quarks. De massaloze velden van de type IIB snaartheorie worden beschreven door type IIB supergravitatie.

In deze thesis staan de branen die in de type IIB snaartheorie voorkomen centraal en worden bestudeerd met behulp van type IIB supergravitatie. In de type IIB snaartheorie komen 1-, 3-, 5-, 7- en 9-branen voor. Zoals in alle vijf de snaartheorieën wordt de interactie tussen de snaren beschreven door een massaloos scalair veld, d.w.z. een veld zonder spin dat de koppelingssterkte van de interacties bepaald. De type IIB theorie onderscheidt zich van de andere vier theorieën onder andere doordat er oneindig veel equivalente (maar verschillende) keuzes gemaakt kunnen worden voor het veld dat de koppeling beschrijft. Voor elke keuze voor de koppeling bestaan er

twee verschillende 1-branen: te weten één die zwak en één die sterk gekoppeld is. De eigenschappen van de overige 3-, 5-, 7- en 9-branen worden vervolgens bepaald door het type 1-braan (sterk of zwak gekoppeld) dat op deze 3-, 5-, 7- en 9-branen eindigt. Voor het geval van de 3-braan blijkt de theorie verkregen met de ene dan wel de andere 1-braan equivalent te zijn en zodoende bestaat er maar één 3-braan. Voor het geval van de 7-branen geldt juist dat er meer 7-branen bestaan dan er op deze wijze geklassificeerd worden. Dit heeft te maken met een speciale eigenschap van 7-branen, namelijk dat het mogelijk is om 7-branen waarop verschillende 1-branen (lees open snaren) eindigen op elkaar te leggen. Dit leidt tot een veel grotere klasse van 7-branen, een klasse die aangeduid wordt met de term: Q7-branen. De precieze wijze waarop dit gedaan kan worden, vormt een groot deel van wat er in deze thesis beschreven staat.

In zekere zin beschrijven 7-branen overgangen tussen verschillende toestanden van de theorie. Dit heeft te maken met het gedrag van de koppeling van de theorie wanneer er 7-branen in de achtergrond aanwezig zijn. Het blijkt dat op een achtergrond van 7-branen de koppeling overgangen vertoont tussen verschillende waarden die het kan aannemen. Een onderwerp dat nauw verband houdt met dat van 7-branen is de studie van zogenaamde instantonen. Instantonen beschrijven kwantumprocessen die klassiek gezien 'verboden' zijn. Dergelijke processen worden tunnelingsprocessen genoemd en er is dan sprake van een overgang tussen twee verschillende fysische toestanden en ook hier speelt de koppeling een belangrijke rol. Het wordt aangetoond dat het bestaan van meerdere 7-branen impliceert dat er ook meerdere instantonen bestaan welke aangeduid worden als Q-instantonen.

Ik hoop hiermee de titel van mijn thesis enigszins te hebben uitgelegd en de fysische context van het in mijn thesis beschreven werk te hebben geduid. De thesis is als volgt ingedeeld. In hoofdstuk één bespreek ik type IIB supergravitatie met de nadruk op zijn verschillende uitingsvormen aangaande de verschillende keuzes die men kan maken voor het veld dat de koppeling beschrijft. Hoofdstuk twee geeft een overzicht van de branen van de type IIB theorie zonder de Q7-branen te bespreken. Zeven-branen inclusief de Q7-branen zijn het onderwerp van hoofdstuk drie. Het laatste hoofdstuk vier bespreekt de Q-instantonen en hun eigenschappen.

