

University of Groningen

Instantons and cosmologies in string theory

Collinucci, Giulio

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:

2005

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

Citation for published version (APA):

Collinucci, G. (2005). *Instantons and cosmologies in string theory*. 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.

Samenvatting

In dit proefschrift zijn twee onderwerpen behandeld: instantonen en kosmologieën in scalar-zwaartekracht truncaties van superzwaartekracht en in scalar-zwaartekracht theorieën in het algemeen. In het laatste hoofdstuk werd aangetoond dat deze onderwerpen gerelateerd zijn.

Het eerste hoofdstuk behandelde de fundamentele beginselen van de bosonische snaartheorie en de supersnaartheorie. We hebben geleerd dat elke toestand van een kwantummechanische, relativistische snaar als een deeltje kan worden opgevat, waarbij zijn massa en spin de kwantumgetallen van de snaartrillingstoestand zijn, in tegenstelling tot Casimir operatoren (i.e. vaste eigenschappen). De nadruk van dit hoofdstuk ligt op de veldentheorie limiet van de snaartheorie. Als we veronderstellen dat snaren zwak koppelen, i.e. dat de koppeling van snaren bepaald door de constante waarde van de dilaton klein is, dan kunnen we een twee-dimensionale CFT op het wereldoppervlak van de snaar definiëren. Velden zoals de ruimtetijd (*target space*) metriek worden gezien als veld-afhankelijke koppelingen van het σ -model. Ze kunnen ook worden gezien als operator inserties van coherente toestanden van het snarenspectrum, zoals het spin-2 toestand/deeltje dat graviton wordt genoemd. Om de klassieke conforme invariantie van de CFT ook te laten gelden op het kwantumniveau, moeten de β -functies voor de veld-afhankelijke koppelingen op nul worden gezet. Deze beperkingen zijn perturbatief in α' en, in de lage energie benadering, houden we alleen de nulde-orde termen. Dit geeft ons beperkingen die eruit zien als de bewegingsvergelijkingen van ruimtetijd velden (zoals de Einstein vergelijking voor de ruimtetijd metriek). Door deze ruimtetijd bewegingsvergelijkingen weer te geven als acties, verkrijgen wij de superzwaartekracht acties, welke gebruikt zijn in dit proefschrift.

In het tweede hoofdstuk werden de basisbeginselen van instantonen uitgelegd. We begonnen met het voorbeeld van het niet-relativistische kwantumdeeltje in de dubbele-put en de periodieke potentialen. We hebben geleerd dat instantonen extrema zijn van de Euclidische actie die gebruikt kunnen worden om tunnelingsamplitudes te berekenen. Deze tunnelingseffecten leren ons dat de naïeve ontaarde perturbatieve vacua van de theorie geen stationaire toestanden zijn omdat het deeltje ze kan verlaten. Dit stelt ons in staat het werkelijke vacuüm van de theorie te definiëren, wat ruwweg een lineaire combinatie is van de naïeve vacua. Vervolgens gingen we verder met de toepassing van instantonen in de kwantumveldentheorie, door het voorbeeld van de Yang-Mills instanton te behandelen. Dit toonde ons hoe de principes van instantonen en werkelijke vacua generaliseren tot kwantumveldentheorieën. We zagen dat een padintegraal die rekening houdt met de effecten van instantonen, i.e. een padintegraal die de *echt*-vacuüm-tot-*echt*-vacuüm amplitude geeft, in essentie een topologische θ -term in zijn actie krijgt. Aan het einde van het hoofdstuk heb ik uitgelegd hoe instantonen in D Euclidische dimensies soms

overeen kunnen komen met solitonen in $D + 1$ ruimtetijd dimensies.

In het derde hoofdstuk konden we deze kennis toepassen in een scalar-zwaartekracht theorie. Allereerst hebben we een aantal subtiliteiten met betrekking tot de Euclidische padintegraal voor de zwaartekracht naar voren gebracht. Daarna definieerden we een theorie van zwaartekracht met twee scalairen, welke kunnen worden ingebed in type IIB superzwaartekracht voor bepaalde waarden van de dilaton koppeling. We vonden de oplossingen voor deze theorie en waren in staat ze te classificeren in termen van hun $SL(2, \mathbb{R})$ 'conjugatieklassen'. Er bleken drie $SL(2, \mathbb{R})$ -ongerelateerde families van oplossingen te zijn. Door de in hoofdstuk 2 besproken correspondentie tussen instantonen en solitonen toe te passen, realiseerden wij ons dat de drie families van D-instantonen gezien kunnen worden als ruimtelijke gebieden van superextremale, extremale en subextremale elektrisch geladen zwarte gaten. Na de tunneling interpretatie van deze oplossingen naar voren te hebben gebracht, hebben we de mogelijkheid besproken dat zij leiden tot niet-perturbatieve R^8 correcties aan de type IIB effectieve actie.

Ten slotte heb ik enkele onderwerpen besproken, die onderdeel uitmaken van mijn nog lopende onderzoek. Het plaatsen van D-instantonen in een AdS achtergrond kan leiden tot interessante toepassingen in de AdS/CFT correspondentie. De correspondentie tussen de extremale D-instanton in type IIB superzwaartekracht en de zelf-duale instanton van $\mathcal{N} = 4, d = 4$ super-Yang-Mills, is sinds enige tijd bekend. Wij hopen de veldentheorie duale van de niet-extremale D-instantonen te begrijpen, wat ons in de richting zou kunnen wijzen van niet-zelf-duale super-Yang-Mills instantonen.

Het volgende deel van dit proefschrift heeft een ander soort scalar-zwaartekracht oplossing behandeld, dat ook afhangt van één parameter: FLRW kosmologieën. Hoofdstuk 4 introduceerde de basisprincipes van de standaard kosmologie en moderne kosmologie. Inflatie en de tegenwoordige versnelling zijn experimenteel gemeten gebeurtenissen in ons universum. Als de snaartheorie daadwerkelijk de theorie van alles is, moet zij een realistisch scenario voor deze gebeurtenissen toelaten. Aan het eind van het hoofdstuk heb ik een samenvatting gegeven van enkele van de vele op de snaartheorie gebaseerde benaderingen van de moderne kosmologie, gericht op modellen die te reduceren zijn tot theorieën van vier-dimensionale zwaartekracht met scalaire velden.

In hoofdstuk 5 bestudeerden we het scalar-zwaartekracht systeem met een enkele exponentiële potentiaal. Allereerst toonde we aan dat, door een juiste veldherdefinitie, het systeem effectief slechts één scalair veld in de exponent van de potentiaal heeft. Daarna werden de bewegingsvergelijkingen herschreven in de taal van autonome systemen. We zagen dat, bij gebruik van deze terminologie, de gebruikelijke FLRW 'machtswet' (*power-law*) en de Sitter oplossingen kunnen worden gezien als kritische punten en de meer interessante oplossingen zijn diegene die interpoleren tussen deze twee regimes. Dit toonde ons hoe wij de oplossingen kunnen herkennen die periodes met tijdelijke versnelling hebben, wat fenomenologisch interessant is voor modellen van zowel inflatie als de tegenwoordige versnelling.

In hoofdstuk 6, hebben we alle vereenvoudigingen laten vallen door de *meest* algemene multi-exponentiële potentiaal voor een willekeurig aantal scalaire velden te bestuderen. Een algemene formule voor het vinden van kritische punten werd afgeleid, welke de Sitter kritische punten blootlegde die nog nooit ontdekt waren. De algemene formule werd vervolgens toegepast op enkele specifieke gevallen afkomstig van reducties van pure zwaartekracht op drie-dimensionale groepvariëteiten. Tenslotte werden mogelijke uitbreidingen van genoemd werk

beschreven, namelijk het toevoegen van een barotropische vloeistof in het systeem om materiaal na te bootsen en van ruimtelijke kromming. Een mogelijke toepassing van een dergelijke uitbreiding is het ‘kosmische samenvallen probleem’ (*cosmic coincidence problem*), wat mogelijk opgelost kan worden door ‘schalende oplossingen’ (*scaling solutions*).

In het afsluitende hoofdstuk 7 werden D-instantonen en kosmologieën samengebracht. Hun wiskundige overeenkomstigheid, te wijten aan het feit dat beide oplossingen van scalar-zwaartekracht modellen zijn die afhankelijk zijn van slechts één coördinaat, werd vertaald in twee concrete correspondenties. Allereerst zagen wij dat enkele D-instantonen gerelateerd zijn aan S(-1)-branen via de Wick rotatie. In het tweede deel van het hoofdstuk ontwikkelden wij een formalisme dat beide typen oplossingen op gelijke voet brengt. Door het interpreteren van scalaire velden als coördinaten van een twee-dimensionale scalarvariëteit (*target space*) en het vervolgens uitvoeren van coördinatentransformaties op deze scalarvariëteit, realiseerden wij ons dat instanton oplossingen gezien kunnen worden als de banen van deeltjes in een dS_2 ruimte. De drie $SL(2, \mathbb{R})$ families van instantonen komen overeen met respectievelijk massieve, massaloze en tachyonische deeltjes. De kosmologieën, aan de andere kant, worden geïnterpreteerd als banen van een deeltje in een Euclidische H_2 ruimte.

De Ansätze voor de ruimtetijd metriek van zowel de instantonen als de kosmologieën zijn zodanig dat beide metrieken slechts één vrijheidsgraad hebben. Door het interpreteren van deze vrijheidsgraad als een extra scalarvariëteit coördinaat, werden wij in staat gesteld beide systemen te combineren in de actie van een deeltje in een drie-dimensionale Minkowski ruimtetijd. In dit formalisme zijn een instanton en een kosmologie samengepakt en worden beschouwd als twee delen van de baan van een enkel deeltje. Dit suggereert een mogelijk scenario om kosmologische singulariteiten op te lossen. Bijvoorbeeld, in deze scalarvariëteit taal wordt de Big Bang voorafgegaan door een instanton fase wat in zichzelf voorafgegaan wordt door een Big Crunch.

