



University of Groningen

## Supersymmetry and string effective actions.

Suelmann, Johannes Hendrikus

**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:*

1994

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

### *Citation for published version (APA):*

Suelmann, J. H. (1994). Supersymmetry and string effective actions. 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).

### **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 wordt een stuk fundamenteel theoretisch onderzoek in de elementaire-deeltjesfysica beschreven. Voordat ik uitleg wat er nu eigenlijk onderzocht is, eerst wat toelichting bij de woorden *fundamenteel*, *theoretisch* en *elementaire-deeltjesfysica*.

Onderzoek kan grofweg worden verdeeld in twee soorten: toegepast onderzoek en fundamenteel onderzoek. Bij toegepast onderzoek doe je werk waarvan je de resultaten direct voor iets nuttigs wilt gebruiken: een snellere computer, een zuinigere auto, noem maar op. Bij fundamenteel onderzoek gaat het er om kennis en begrip te verzamelen; je kijkt dus niet echt naar het nut ervan, je wilt gewoon begrijpen hoe iets werkt. Fundamenteel onderzoek doen we om twee redenen.

Ten eerste doe je fundamenteel onderzoek om de nieuwsgierigheid te bevredigen. De mens wil nu eenmaal weten of bomen ook gevoel hebben, of het heelal een keer aan zijn einde komt, en meer van dat soort dingen. Een belangrijke "grote" vraag is of de natuur is zoals wij haar aantreffen om een goede reden, of dat het evengoed allemaal anders had kunnen zijn. Hier kom ik zo op terug.

Ten tweede zijn de resultaten vaak toch nuttig, hoewel je dat als je met het onderzoek begint vaak nog niet kunt zien. Zo kom je soms tot leuke vindingen: je kunt wel toegepast onderzoek naar nog betere gaslampen blijven doen tot je een ons weegt, maar toen er fundamenteel onderzoek was gedaan naar electriciteitsleer, kon men gloeilampen maken.

Veel mensen stellen zich bij "onderzoek" toch vooral experimenteel onderzoek voor. Je doet een experiment, meet het een en ander, en probeert vervolgens te begrijpen wat je gezien hebt. Theoretisch onderzoek gaat precies de andere kant op. Je probeert je een voorstelling te maken van hoe de dingen die je wilt onderzoeken werken, en daarna probeer je uit de voorstelling die je gemaakt hebt af te leiden wat er uit een bepaalde meting zou moeten komen. Als het niet klopt heb je de boel nog niet goed begrepen, en moet je iets anders proberen. Klopt het wel, dan bedenk je nog meer experimenten om je voorstelling ("model" genoemd) verder te controleren.

Elementaire-deeltjesfysica is de tak van de natuurkunde die zich – het woord zegt het al – bezighoudt met het gedrag van elementaire deeltjes, dat zijn de kleinste deeltjes waaruit iets is opgebouwd. Als we het gedrag van deze kleinste deeltjes goed begrijpen kunnen we – in principe – ook het gedrag van het grote geheel begrijpen. Nemen we als voorbeeld een glas water. Koelen we het water flink af, dan bevriest het en gaat over in ijs. Het water bestaat uit watermoleculen. Kennen we het gedrag van deze moleculen, dan kunnen we begrijpen waarom en hoe het water ijs wordt. Het watermolecuul bestaat weer uit atomen. Hoe een watermolecuul zich gedraagt kunnen we begrijpen als we de eigenschappen van de verschillende atomen kennen. We zijn weer een stap verder, maar nu hebben we een nieuw probleem: we willen de werking van een atoom begrijpen. Een atoom bestaat uit een kern en een aantal electronen. De kern laten we hier even voor wat hij is; we beperken ons tot de electronen, die

we goed moeten begrijpen om het gedrag van een atoom te verklaren.

Er zijn geen aanwijzingen dat een electron bestaat uit nog weer kleinere deeltjes, maar zekerheid hierover is er natuurlijk niet. Het zal trouwens wel duidelijk zijn dat het dan misschien in principe wel mogelijk is het bevrozen van water uit te leggen vanuit het gedrag van elementaire deeltjes, in de praktijk is dat nog een hele toer.

Dit proefschrift gaat over een probeersel om het gedrag van de kleinste deeltjes die we nu kennen te begrijpen. Hierboven is de vraag al gesteld of er een reden is waarom de natuur zo is als zij is. We proberen deze vraag dus te beantwoorden door op zoek te gaan naar die reden.

Dit probeersel heet "stringtheorie". Het is een model dat aanneemt dat deeltjes niet puntvormig zijn, zoals meestal wordt aangenomen, maar dat ze de vorm van een touwtje hebben. Dat is dan trouwens wel een erg kort touwtje. Het ligt voor de hand dat een theorie met touwtjes moeilijker is<sup>1</sup> dan een theorie met puntvormige deeltjes, en inderdaad, stringtheorie blijkt verschrikkelijk moeilijk te zijn. Dat is jammer, want daardoor kunnen we niet zo gemakkelijk kijken of stringtheorie "goed" is, d.w.z. of de resultaten ervan kloppen met experimenten die je kunt doen. Gelukkig is hiervoor een truc bedacht. We kunnen proberen een theorie te maken die een soort simpele benadering van stringtheorie is. Weliswaar minder goed, maar ook minder moeilijk. Zo'n theorie heet een *effectieve veldentheorie*. We kunnen dan zien of we misschien met een effectieve veldentheorie wat verder kunnen komen, en kunnen zien wat er ongeveer uit een berekening gaat komen. Hebben we dat eenmaal gedaan, dan is het al een stuk gemakkelijker om in de "echte" stringtheorie te kijken of het antwoord klopt.

Het onderzoek waarmee ik de laatste jaren bezig ben geweest, was bedoeld om bestaande effectieve veldentheorieën te verbeteren. In hoofdstuk 8 worden de door ons gevonden verbeteringen besproken. Ik kom hierop straks terug. Toch is ook het werken met een effectieve veldentheorie nog bepaald niet gemakkelijk, en er zal nog behoorlijk wat werk moeten gebeuren voor we weten of stringtheorie een goede beschrijving van de werkelijkheid is. Een groot succes is echter wel al binnen: stringtheorie voorspelt de werking van de zwaartekracht, en de resultaten kloppen met de theorie die Einstein daarvoor heeft opgesteld, en die keer op keer door metingen bevestigd is.

Blijft nog een vraag over die hier besproken moet worden: waarom touwtjes in plaats van puntdeeltjes?<sup>2</sup> Op het eerste gezicht lijkt het er alleen maar moeilijker van te worden. Toch is dat maar schijn; rekenen met touwtjes is weliswaar wat moeilijker, maar de uitgangspunten van de theorie zijn simpeler. Dat zit zo:

Er zijn heel wat elementaire deeltjes bekend, wel 37. Dat zijn dus 37 verschillende puntdeeltjes, allemaal met verschillende eigenschappen. In stringtheorie

<sup>1</sup>Een puntdeeltje heeft altijd de vorm van een punt, maar een touwtje kan allerlei vormen aannemen. Dat maakt de zaak een stuk ingewikkelder.

<sup>2</sup>In hoofdstuk 1 wordt in meer detail ingegaan op de vraag waarom we zelfs met de beste puntdeeltjes-theorie niet tevreden zijn. Dit hoofdstuk moet ook voor de leek nog aardig begrijpelijk zijn.

heb je maar  
misschien wat  
dat is het toch  
trillen. Dat ka  
uitproberen:  
dan als je me  
een andere m  
de verschillen  
weet je dus w

Jammer g  
nen zien of de  
deeltjes die w

Voor hen  
eigenlijk gaat  
worden vaak l  
hier uit te gaa  
wel: het gedra

Als je weet ho  
en kun je pre  
hierboven ger  
grangeaan. E  
gaat het voor  
meeste kans r  
de effectieve v  
die in het voo  
in de formules  
een nogal rui  
hoorlijk wat s  
formules 7.1,  
zich in twee  
één. Het uit  
een klein deel  
beschreven in  
vinden zonde

Hoe gaat  
natuur een sy  
dig betekent  
bijna dezelfde  
een bepaalde  
als je alle de  
niet mag ver  
stukje van de  
maar heel we

heb je maar één soort touwtje, waarmee je alle deeltjes beschrijft. Het lijkt misschien wat raar dat hetzelfde touwtje verschillende deeltjes kan zijn, maar dat is het toch niet. Een touwtje kan namelijk op allerlei verschillende manieren trillen. Dat kan iedereen die een gitaar of iets dergelijks heeft thuis gemakkelijk uitproberen: als je een snaar tokkelt met de vingertop hoor je een ander geluid dan als je met je vingernagel tokkelt. Het is dezelfde snaar, maar hij trilt op een andere manier. De verschillende manieren waarop het touwtje trilt stellen de verschillende deeltjes voor. Als je het trillen van zo'n touwtje goed begrijpt, weet je dus wat voor deeltjes er allemaal bestaan.

Jammer genoeg begrijpen we die trillingen nog niet goed genoeg om te kunnen zien of de deeltjes die je uit stringtheorie krijgt inderdaad kloppen met de deeltjes die we in het echt zien. Werk aan de winkel dus.

Voor hen die toch wat preciezer willen weten om wat voor werk het nu eigenlijk gaat, zal ik nu iets meer in detail treden. Natuurkundige systemen worden vaak beschreven met een zogenaamde *Lagrangiaan*. Het voert te ver om hier uit te gaan leggen hoe een en ander precies werkt, maar een voorbeeldje kan wel: het gedrag van een vallend voorwerp wordt beschreven door de Lagrangeaan

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}mv^2 - mgh.$$

Als je weet hoe, kun je hieruit afleiden dat het voorwerp steeds sneller zal vallen, en kun je precies uitrekenen hoe hard het uiteindelijk de grond raakt. Ook de hierboven genoemde effectieve veldentheorieën worden beschreven met een Lagrangeaan. Er bestaan een paar verschillende stringtheorieën, maar in dit boekje gaat het vooral over de *heterotische string*, omdat die theorie waarschijnlijk de meeste kans maakt uiteindelijk succes te hebben. De Lagrangeaan die hoort bij de effectieve veldentheorie van deze stringtheorie is nogal wat ingewikkelder dan die in het voorbeeld hierboven, en wordt in hoofdstuk 6 in twee stukken gegeven in de formules 6.14 en 6.28. Deze Lagrangeaan is echter nog niet volledig: het is een nogal ruige benadering. Als we preciezer willen rekenen moeten er nog behoorlijk wat stukken bij – *correcties* – zoals die bijvoorbeeld genoemd worden in formules 7.1, 7.2 en 7.3. Deze correcties ontstaan onder andere doordat strings zich in tweeën kunnen splitsen, en doordat twee strings kunnen samengaan tot één. Het uitrekenen van die correcties is heel moeilijk, en is ook maar voor een klein deel gelukt. Wat wij hier in Groningen hebben gedaan, en wat wordt beschreven in dit werk, is proberen met een truc wat ontbrekende delen erbij te vinden zonder ze echt uit te rekenen.

Hoe gaat nu die truc? De theorie van de heterotische string voorspelt dat de natuur een symmetrie heeft die “supersymmetrie” genoemd wordt. Natuurkundig betekent dit dat voor elk bestaand deeltje er een *superpartner* bestaat met bijna dezelfde eigenschappen. Wiskundig betekent het dat onze Lagrangeaan een bepaalde strenge eisen moet voldoen: grof gezegd komt het hierop neer, dat als je alle deeltjes verwisselt met hun superpartners de Lagrangeaan daardoor niet mag veranderen. Deze eigenschap maakt het mogelijk om als je een klein stukje van de Lagrangeaan weet de rest erbij te verzinnen: er bestaan namelijk maar heel weinig supersymmetrische Lagrangeanen.

Dit werk wordt beschreven in hoofdstuk 8. We hebben ontdekt hoe je de formules 7.1, 7.2 en 7.3 kunt uitbreiden tot supersymmetrische Lagrangeanen. Er zijn nog veel meer correcties van dit soort denkbaar, die bijvoorbeeld ontstaan doordat heterotische strings zich ook meermalen kunnen splitsen en weer samengaan. Deze correcties zijn helaas nog moeilijker uit te rekenen. In hoofdstuk 8 wordt echter afgeleid dat er maar één mogelijkheid is. Daarom weten we nu al hoe die correcties eruit zien (als ze bestaan) zonder dat we er ook maar iets van uitgerekend hebben. We hopen dat de opgedane kennis van deze correcties helpt in de toekomst gemakkelijker en nauwkeuriger berekeningen te kunnen doen in de theorie van de heterotische string.

94027565