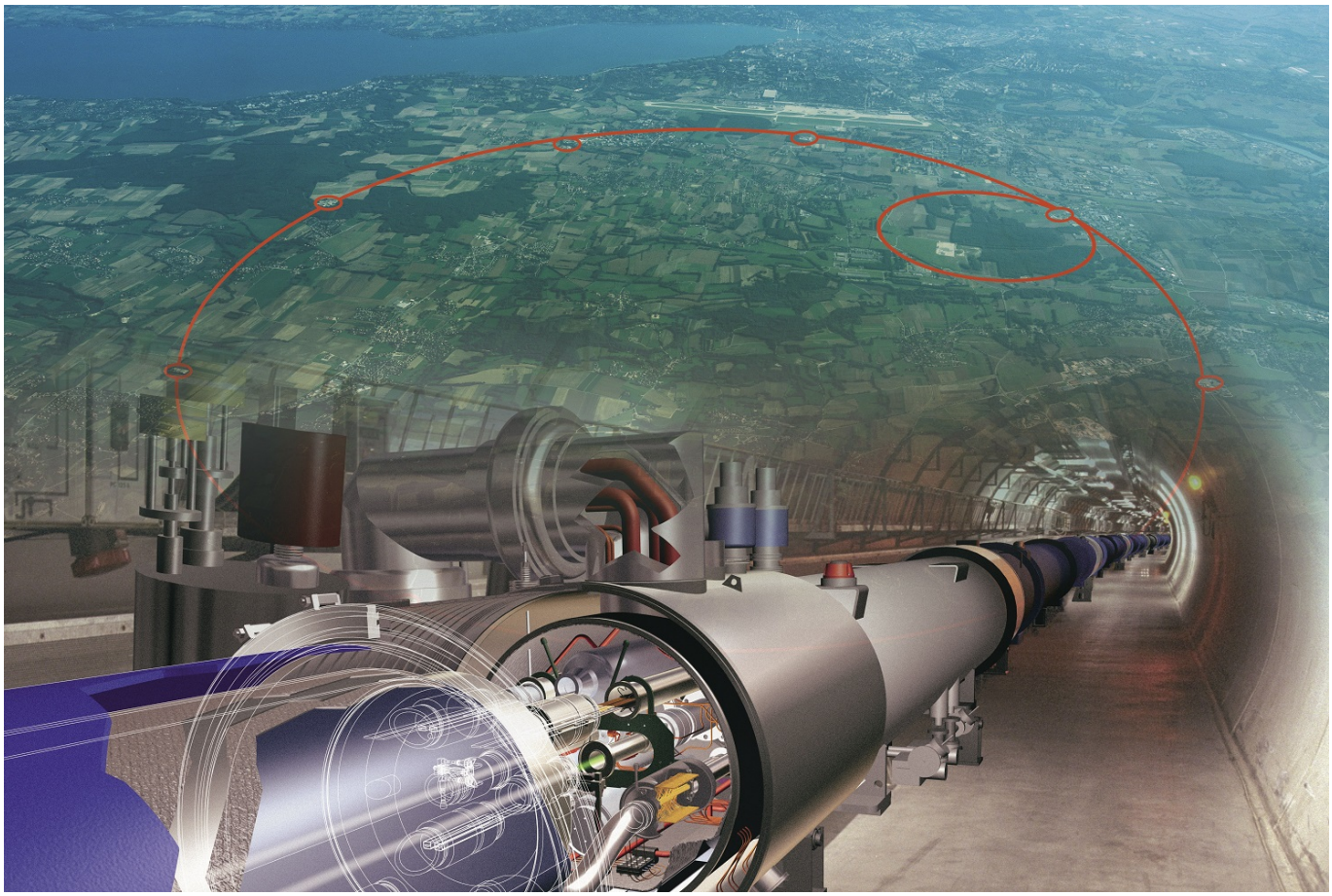
De zwaartekracht voorbij: het gravitino

Theoretisch natuurkundigen bestuderen graag de symmetrieën van natuurkundige modellen. Een speciaal soort symmetrie die in sommige modellen voorkomt is supersymmetrie. Ruwweg gezegd verbindt deze symmetrie elk deeltje in een model met een ander deeltje. Als we deze symmetrie nu op de zwaartekracht toepassen, blijkt dat we een nieuw deeltje moeten toevoegen – het gravitino. In dit artikel bespreek ik waar dit gravitino precies vandaan komt.

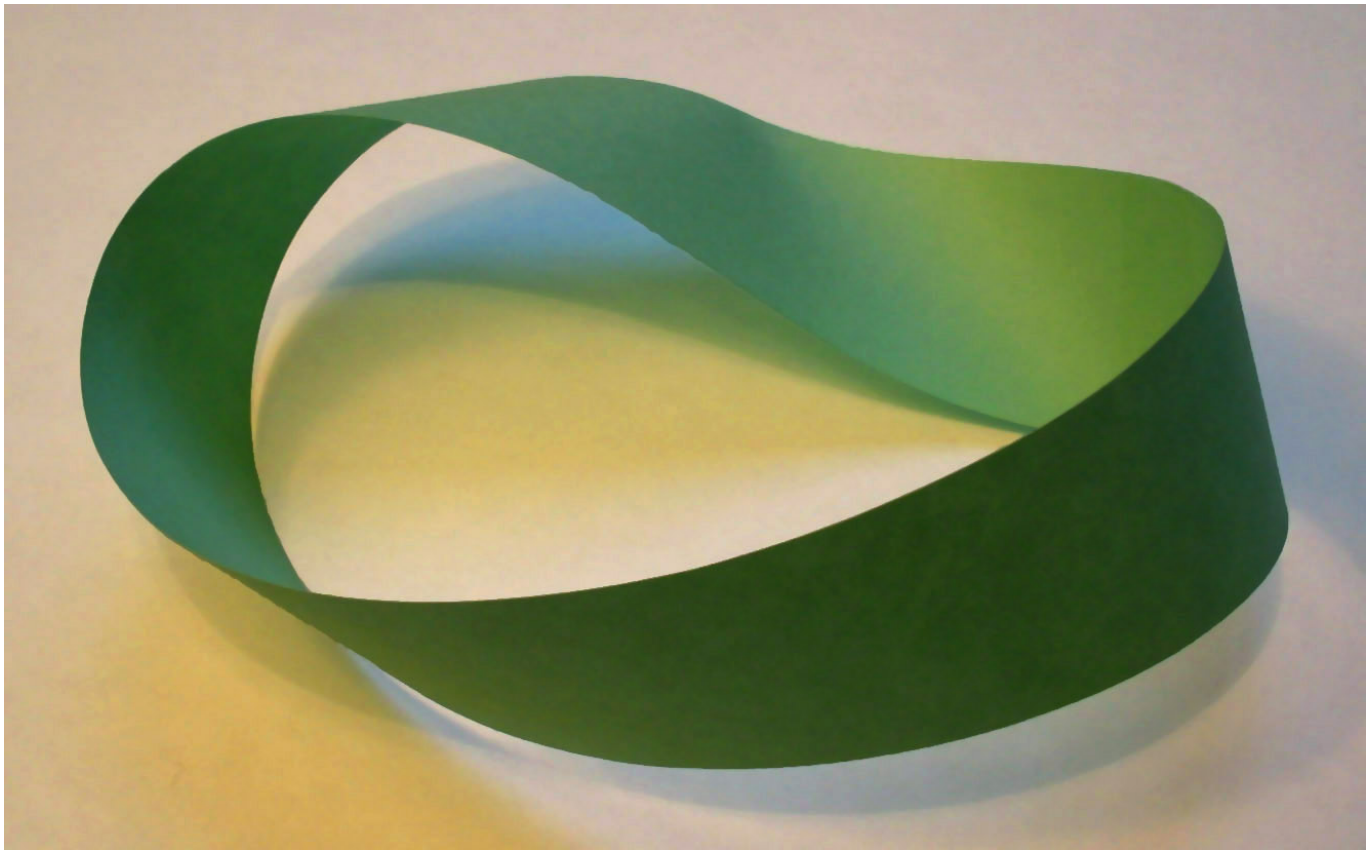


Afbeelding 1. Op zoek naar gravitini?Gravitini zijn nog nooit waargenomen, maar wellicht brengen grote deeltjesversnellers zoals de Large Hadron Collider op het CERN daar verandering in. Afbeelding: CERN.

Om te begrijpen hoe supersymmetrie precies bepaalde deeltjes aan elkaar relateert, moeten we eerst het concept *spin* uitleggen. Spin is een quantummechanische eigenschap van fundamentele deeltjes die veel weg heeft van het impulsmoment – een grootheid die zegt hoe sterk iets ronddraait. In tegenstelling tot het impulsmoment van voorwerpen is de spin van deeltjes echter *gequantiseerd*. Het impulsmoment kan elke mogelijke waarde aannemen, maar de spin van deeltjes (gemeten in bepaalde slimme eenheden) kan alleen in stappen van een ½ variëren: 0, ½, 1, 3/2 enzovoort.

We kunnen nu de deeltjes die we waarnemen classificeren aan de hand van hun spin. Zo is het Higgsdeeltje het enige deeltje dat we kennen dat spin 0 heeft. Deeltjes met spin ½, zoals elektronen en quarks, zijn de bouwstenen van bijna alle materie om ons heen. En spin 1-deeltjes zorgen voor de meeste krachten die we waarnemen, zoals bijvoorbeeld fotonen dat doen voor het elektromagnetisme.

Een handige manier om deze deeltjes vervolgens in te delen, is door te kijken of ze gehele of halftallige spin hebben. Deeltjes met gehele spin, 0, 1, 2, …, noemen we bosonen (naar de Indiase natuurkundige Satyendra Nath Bose), en deeltjes met halftallige spin, ½, 3/2, …, noemen we fermionen (naar de Italiaanse fysicus Enrico Fermi). Het verschil tussen deze deeltjes zit hem in hoe vaak we ze moeten ronddraaien voor we weer terugkomen in de beginstand. Voor bosonen is dit de gewone 360 graden die je zou verwachten, maar voor fermionen is dit 720 graden. Oftewel, we moeten fermionen twee keer ronddraaien voor ze er weer exact hetzelfde uitzien! Deze eigenschap van fermionen klinkt in eerste instantie misschien wat raar, maar gelukkig is er een handig voorbeeld om dit idee iets intuïtiever te maken. Neem namelijk een strook papier, en plak de uiteinden in tegenovergestelde oriëntatie aan elkaar. Als je vervolgens met een pen een lijn op dit papier wilt zetten, zul je deze zogenaamde *Möbiusband* twee keer moeten ronddraaien voordat je terugkomt bij het beginpunt.



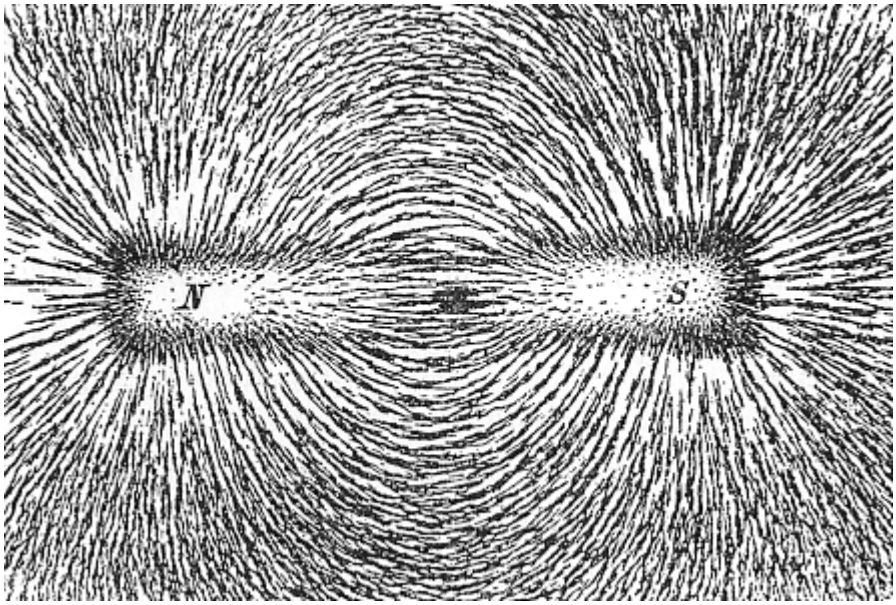
Afbeelding 2. Een möbiusband. Afbeelding: David Benbennick.

Het idee van supersymmetrie is nu dat bosonen met fermionen gepaard gaan en andersom. Om iets preciezer te zijn: ieder deeltje wordt geassocieerd met ander deeltje met een halve eenheid van spin meer of minder. De symmetrie vertelt je vervolgens, als je weet hoe het ene deeltje van zo'n paar zich gedraagt in botsingen en andere processen, precies hoe het andere deeltje in het paar dat zal doen. Om deze symmetrie tussen de deeltjes wat duidelijker te maken, zijn er ook regels voor hoe deze zogenaamde *superpartners* van deeltjes genoemd worden. Voor de fermionische superpartner van een al bekend boson wordt altijd -ino aan het einde toegevoegd, terwijl voor de bosonische superpartner van een al bekend fermion altijd s- vooraan wordt geplakt. Zo is de superpartner van het Higgsdeeltje een deeltje van spin ½, dat het Higgsino wordt genoemd. En omgekeerd is de superpartner van een elektron een spin 0-deeltje, het selektron.

Waar gravitini (het meervoud van gravitino) nu vandaan komen, begrijpen we door supersymmetrie op de zwaartekracht toe te passen. Behalve dat we over zwaartekracht kunnen nadenken als de fluctuaties van onze ruimtetijd, kunnen we die kracht ook beschrijven door interacties van de deeltjes die de zwaartekracht ervaren met een kracht-overbrengend fundamenteel deeltje. Dit deeltje noemen we het graviton, een boson dat spin

2 heeft. Door vervolgens te kijken naar modellen met een supersymmetrische versie van zwaartekracht, betekent dit dat er in de natuur ook een fermionische tegenhanger van het graviton zou kunnen zijn. Dit deeltje is het gravitino, een fermion met spin 3/2.

Om te weten wat voor soort deeltje een gravitino nu precies is, moet ik eerst uitleggen hoe we deeltjes in de theoretische natuurkunde beschrijven. Tegenwoordig gebruiken we hier veelal veldentheorie voor. Vanuit een wiskundig oogpunt kunnen we *velden* zien als wiskundige functies die aan ieder punt in onze ruimtetijd een bepaalde waarde koppelen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de temperatuur: die neemt op elke plek en op elk moment een andere waarde aan. Trillingen van velden komen vervolgens overeen met de deeltjes die wij zien. Voor een spin 0-deeltje zoals het Higgsdeeltje is het veld, net zoals voor de temperatuur, een *getal* dat varieert door ruimte en tijd. Kijken we naar een spin 1-deeltje zoals een foton, dan heeft het bijbehorende veld niet alleen een grootte maar ook een richting in onze ruimtetijd. Om deze reden worden spin 1-velden ook wel *vectorvelden* genoemd. Neem bijvoorbeeld het elektromagnetisch veld, waarvan de veldlijnen, die de ruimtelijke richting weergeven, zichtbaar worden wanneer je een hoopje ijzervijlsel tussen twee magneten legt.



Afbeelding 3. Het magnetische veld. IJzervijlsel laat precies zien waar een magnetisch veld in welke richting wijst. Afbeelding: Newton Henry Black.

Het gravitino, met spin 3/2, is nu een soort combinatie van een spin ½ en een spin 1 veld:

gravitini hebben zowel de eigenaardige eigenschap van fermionen dat ze twee omwentelingen moeten ondergaan voor ze weer ‘zichzelf worden’, als dat ze een richting in onze ruimtetijd aanwijzen zoals vectorvelden. Het gravitino is echter geen *samenstelling* van twee van zulke deeltjes, zoals bijvoorbeeld quarks en anti-quarks wel samen een proton of neutron kunnen vormen. Gravitini zijn echt fundamentele deeltjes, net zoals elektronen en fotonen fundamentele spin ½- en spin 1-deeltjes zijn.

Er is één ‘klein’ probleem: tot nu toe hebben we alleen nog nooit een gravitino waargenomen. Sterker nog, supersymmetrie zelf is nog niet eens experimenteel aangetoond: van geen van de fundamentele deeltjes die we kennen, hebben we nog superpartners kunnen vinden. Het vermoeden is daarom dat supersymmetrie op lage energieschalen ‘gebroken’ is, wat inhoudt dat deze superpartners significant zwaarder zijn dan hun al bekende tegenhangers. Ook modellen met gebroken supersymmetrie zijn wiskundig nog erg elegant, en zouden verschillende natuurverschijnselen kunnen verklaren. De hoop is dat, door deeltjesversnellers zoals de Large Hadron Collider in Genève op hogere energieën te laten draaien, we superpartners zoals het gravitino wél waarnemen. Voor het gravitino zijn er interessante speculaties over wat het, als het inderdaad bestaat, toe kan voegen aan onze huidige modellen. Zo weten we uit de kosmologie dat er in ons universum een grote hoeveelheid aan donkere materie is waarvan we eigenlijk niet goed weten waaruit dit bestaat, en gravitini zijn hier een goede kandidaat voor. Voor nu is het vinden van dit soort superpartners vooral een kwestie van afwachten, maar hopelijk kunnen we hier snel op terugkomen!

In de zomerperiode publiceert de QU-site elke vrijdag een artikel. In september gaan we weer terug naar het schema van twee artikelen per week: elke dinsdag en elke vrijdag.