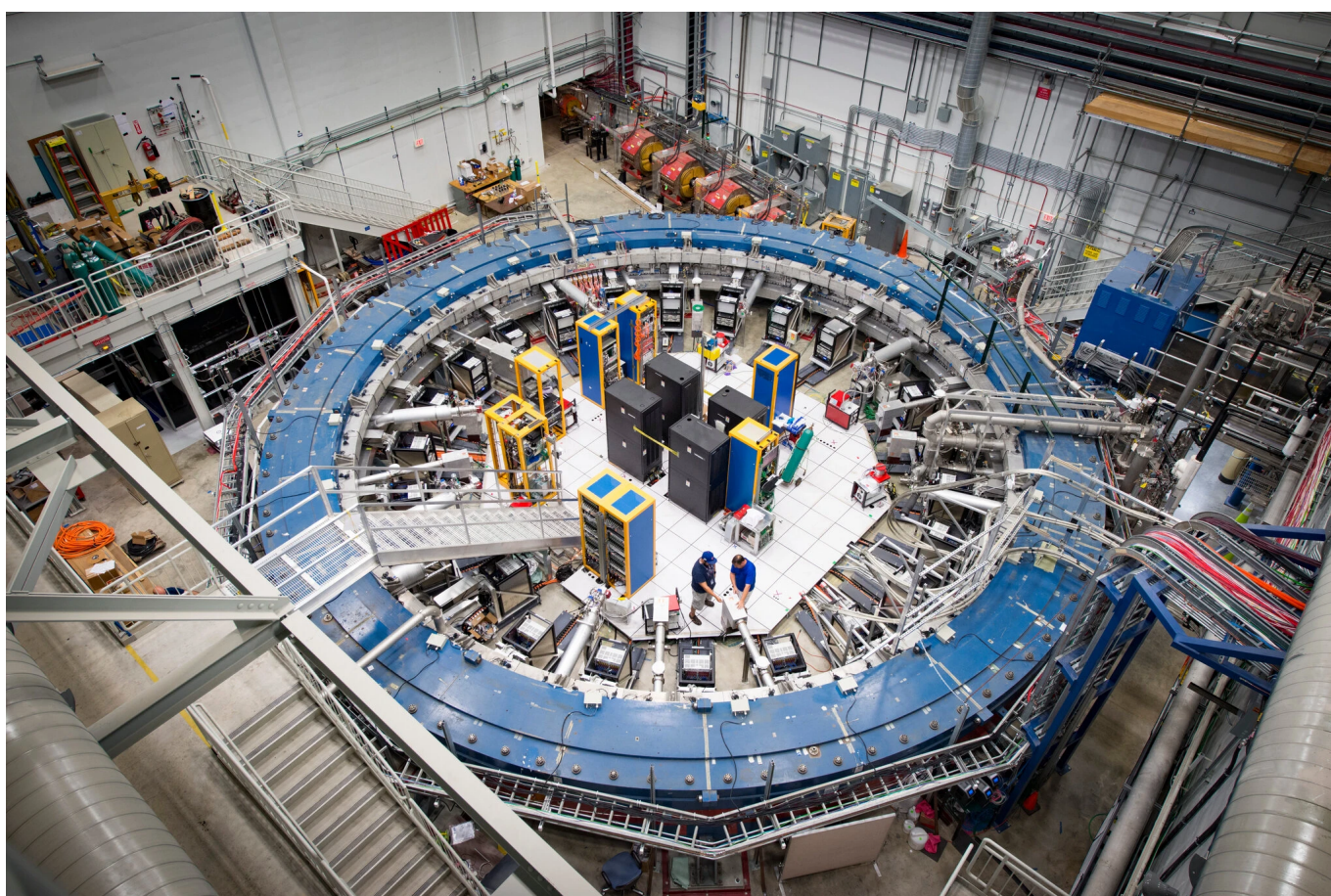


Een hint van nieuwe fysica?

Nadat in 2012 het Higgsdeeltje werd ontdekt, werd het stil aan het front van de deeltjesfysica. De vrees was zelfs dat er voorlopig niets nieuws te ontdekken viel, maar recente metingen, zoals die aan de 'g-factor' van het muon-deeltje, lijken toch hints van nieuwe fysica te bevatten. Staan we aan de vooravond van een nieuwe reeks ontdekkingen?



Afbeelding 1. De muonendetector. De opstelling van het Fermilab waarmee de nieuwe muon-metingen zijn gedaan. Afbeelding: Reidar Hahn/Fermilab, via U.S. Department of Energy.

Het stond met grote koppen in bijvoorbeeld de [Volkskrant](#) (helaas achter een paywall) en [NRC](#): het lijkt er sterk op dat de g-factor van het muon verder van 2 afwijkt dan de theorieën voorspellen. Als iemand je die laatste woorden tijdens een feestje zou vertellen zou je – als je

geen deeltjesfysicus bent – waarschijnlijk niet direct onder de indruk zijn, maar toch is de mogelijk waargenomen minuscule afwijking van een verwachte waarde een *big deal* onder fysici.

G-factor?

Allereerst: wat is een ‘g-factor’ eigenlijk? Het gaat hier om een verhouding tussen twee getallen: het ene (het ‘quantumgetal van impulsmoment’) een getal dat theoretici gebruiken om in hun modellen weer te geven hoe snel een bepaald deeltje kan rondtollen; het andere een gemeten waarde van het zogeheten ‘magnetisch moment’, óók een maat voor het rondtollen van het deeltje.

Aangezien zowel het magnetisch moment als het quantumgetal van impulsmoment weergeven hoe sterk een deeltje rondtolt, zou je verwachten dat je uit één van de twee de ander kunt bepalen, en dat is ook het geval – maar het verband is subtieler dan je op het eerste gezicht zou verwachten. Allereerst is het quantumgetal van impulsmoment in zekere zin een boekhoudkundig label: de minst tollende deeltjes hebben label ‘1’, de net iets sneller tollende deeltjes label ‘2’, enzovoort. (De kleine lettertjes: wiskundig gezien blijkt het logisch om in stappen van $1/2$ te tellen, dus in de praktijk labelen natuurkundigen het quantumgetal als $1/2$, 1, $3/2$, 2, enzovoort.) Dat er geen tussenliggende deeltjes kunnen bestaan die nét iets sneller tollen dan het langzaamst tollende deeltje (bijvoorbeeld een elektron) en nét iets langzamer dan het volgende deeltje in de boekhouding (zoals een foton) is een gevolg van de quantummechanica zelf: dat zo’n stapsgewijze lijst bestaat is precies de ‘quantisatie’ waaraan de quantummechanica haar naam te danken heeft.

De theorie gebruikt dus eenvoudige labels, 1, 2, 3, ..., maar dat wil niet zeggen dat, als we het magnetisch moment van een deeltje gaan *meten*, ons meetapparaat ook de waarden 1, 2, 3, enzovoort zal aangeven – een meting van een fysische grootte heeft altijd een bepaalde getalswaarde en wordt uitgedrukt in een bepaalde eenheid. Bijvoorbeeld: ik kan de afstand naar een bepaald punt in mijn straat uitdrukken in het aantal huizen dat ik moet passeren om er te komen: 1, 2, 3, enzovoort. Ga ik echter meten hoe ver het betreffende punt echt bij mij vandaan is, dan vind ik 8,7 meter als het gaat om één huis, 17,4 meter als het gaat om twee huizen, enzovoort. De verhouding tussen mijn boekhoudkundige weergave en de daadwerkelijke meting (8,7 meter) hangt af van allerlei factoren; keuzes van gemeente

en architecten die uiteindelijk geleid hebben tot het precieze ontwerp van onze straat en dus de precieze breedte van één huis.

Iets soortgelijks gebeurt bij het meten van het magnetisch moment van een deeltje. Fysici hebben wel geprobeerd om een boekhoudkundige keuze zo eenvoudig mogelijk te maken. Als je de meest eenvoudige berekening zou doen om vanuit het quantumgetal het daadwerkelijke magnetische moment uit te rekenen, en dat laatste in de juiste eenheden uitdrukt, kom je dan ook op een heel eenvoudig verband: de getalswaarde van het gemeten magnetische moment is precies twee keer de waarde van het 'boekhoudkundige label'. Die verhouding tussen de gemeten waarde in de juiste eenheden enerzijds en het boekhoudkundige label anderzijds wordt dus de *g-factor* genoemd.

Twee of bijna twee?

Het probleem is nu: in de berekening waaruit blijkt dat die *g-factor* gelijk is aan 2, worden bepaalde vereenvoudigende aannames gemaakt. Vergelijk het met het geval waarin ik voor het berekenen van de afstanden in mijn straat precies de planning van de gemeente gebruik: men wilde in een straat van 70 meter 8 huizen bouwen, dus voor elk huis was precies 8,75 meter beschikbaar. Helaas bleken bij het bouwen van de huizen de bakstenen 30cm lang, en dus koos de uitvoerder ervoor om huizen van 8,7 meter breed te bouwen. Als ik de eenvoudigste berekening doe kom ik dus *bijna* op de juiste factor van 8,7 meter, maar net niet precies – om dat getal te vinden moet ik verdere details weten over welke bakstenen er bestaan.

Toegegeven, de vergelijking is niet perfect, maar het idee dat we willen overbrengen is: ook in de berekening van de *g-factor* kun je een eenvoudige berekening doen – die je tot het antwoord '2' zal leiden – of je kunt alle bekende fysica meenemen in je berekening, en dan blij je *nét* niet precies op 2 uit te komen, maar – afhankelijk van het deeltje – op zo'n tiende van een procent ervanaf.

Het probleem, maar tegelijk: het interessante, zit 'm nu in dat 'alle bekende fysica meenemen'. Hoeveel de *g-factor* afwijkt van 2 hangt namelijk af van alle mogelijke andere soorten deeltjes waarmee het deeltje dat we onderzoeken interacties kan hebben. Als we bijvoorbeeld de precieze *g-factor* van een elektron willen berekenen, moeten we weten dat het elektron fotonen kan uitzenden en opnemen, interacties kan hebben met quarks,

enzovoort. Al die interacties kunnen in de eeuwig fluctuerende quantumwereld continu plaatsvinden, en die quantuminteracties zorgen ervoor dat wat we daadwerkelijk met ons meetapparaat meten een getalswaarde heeft van net iets meer dan 2. Nemen we voor een elektron alle bekende interacties mee, dan vinden we bijvoorbeeld 2,00231930436256 – en al die theoretisch berekende decimalen kloppen prachtig met wat we in onze experimenten meten!

Bijna twee of bijna bijna twee?

Ook voor het muon kun je zo de g-factor berekenen, en omdat het muon een wat ingewikkelder deeltje is vind je dan net iets minder decimalen, maar toch nog altijd een indrukwekkend nauwkeurig getal van 2,00233183620. Kunnen we die decimalen ook allemaal in experimenten meten? Nee, net niet – de experimenten zijn daar nog niet gevoelig genoeg voor. Toen men de meting zo'n 10 jaar geleden in het Brookhaven National Laboratory deed kon men de decimalen op grofweg de laatste vier na meten, en de wél gemeten decimalen klopten goed met de berekende waarde.

Goed... maar niet perfect. Er leek, ook 10 jaar geleden al, net iets te wringen. De laatste paar gemeten decimalen klopten net niet helemaal met de berekende decimalen, maar de nauwkeurigheid van de metingen was zodanig dat dat nog heel goed een statistisch effect zou kunnen zijn. Eén enkele meting geeft nu eenmaal nooit een perfect resultaat; om een goede getalswaarde van welke grootte dan ook te meten, moet je een experiment vele malen herhalen, en de gevonden waarden middelen. Daarbij kan het natuurlijk gebeuren dat je net iets te veel uitschieters naar boven hebt gemeten en net iets te weinig uitschieters naar beneden, of andersom, waardoor de gemiddelde waarde nooit helemaal nauwkeurig is. Voor de metingen van 10 jaar geleden zou het nog heel goed hebben gekund dat zulke statistische fluctuaties de oorzaak van de gevonden afwijking waren.

Maar nu, sinds enkele dagen, zijn er dus nieuwe metingen. En ook díé laten een afwijking zien. De gemeten waarde van de g-factor van het muon is 2.00233184080, en wie dat vergelijkt met het getal twee alinea's hierboven ziet dat maar liefst de laatste vier decimalen anders zijn. Natuurlijk zijn ook die decimalen niet allemaal loepzuiver bepaald – vanwege dezelfde statistische effecten – maar ze zijn wel zó nauwkeurig dat de kans dat het om statistische effecten gaat (dat wil zeggen: de kans dat, áls de theoretische waarde juist zou

zijn, je toch deze meetwaarde zou vinden), grofweg 1 op de 40.000 is. Fysici zijn graag heel zeker van hun zaak, dus ze zijn nog niet helemaal bereid om zo'n klein toeval uit te sluiten (in vaktermen: de gemeten afwijking is '4,2 sigma' terwijl de afspraak is om pas bij '5 sigma' echt van een *ontdekking* te spreken), maar desondanks is er natuurlijk voldoende reden voor zorgen én enthousiasme.

Nieuwe fysica?

Zorgen zijn er omdat de theorie niet exact lijkt te kloppen, maar enthousiasme is er ook, omdat we weten waar dat op duidt: het betekent simpelweg dat we in dat geval niet alle mogelijke interacties met bestaande deeltjes hebben meegenomen in de berekeningen. Dat kan weer twee verklaringen hebben: de interacties met de bekende deeltjes zijn niet op de juiste manier meegenomen, óf er bestaan nog andere deeltjes dan de bekende deeltjes, en dát zou kunnen betekenen dat we nu voor het eerst sinds het Higgsdeeltje in 2012 weer hints zien van het bestaan van nieuwe deeltjes in de natuur.

Zoals zo vaak: de toekomst zal leren wat hier nu precies aan de hand is. Allereerst is er de mogelijkheid dat, hoe onwaarschijnlijk ook, het tóch nog gaat om een statistische fluctuatie of een andere fout in de metingen. Nieuwe metingen zijn onderweg, dus hopelijk zullen we het in dat geval snel weten. Houdt de afwijking stand, dan wordt de vraag: klopt de bestaande theoretische berekening niet precies (zeker niet uitgesloten, lees bijvoorbeeld in [dit Engelstalige artikel](#) van Natalie Wolchover meer over een ándere theoretische berekening die veel minder afwijking lijkt te vertonen) of gaat het hier echt om interacties met nieuwe deeltjes? En kunnen we die nieuwe deeltjes zelf dan ook waarnemen?

Spannende vragen, waarop we hopelijk het antwoord op de niet al te lange termijn zullen achterhalen. We houden u op de hoogte!

Lees naast bovengenoemde artikelen bijvoorbeeld ook [dit artikel](#) (Engelstalig) van Dennis Overbye voor meer over wat er nu precies gemeten is en hoe.