Het "Higgs"-mechanisme?

“Ere wie ere toekomt” – het is een mooi idee, maar ook in de natuurkunde gaat het vaak mis. Daarom vandaag, op de geboortedag van Gerald Guralnik (1936-2014), wat aandacht voor de vele ontdekkers van wat vooral bekendstaat als het Higgs-mechanisme.



Afbeelding 1. Vijf “mede-ontdekkers” van het Higgsmechanisme.Van links naar rechts: Kibble, Guralnik, Hagen, Englert, en Brout.

In 1964 verschenen in het tijdschrift *Physical Review Letters* drie belangrijke artikelen die ruwweg hetzelfde idee beschreven: een slimme manier om met behulp van een quantumveldentheorie bepaalde deeltjes met massa te beschrijven. Van de zes auteurs was het uiteindelijk Peter Higgs die de meeste faam verworf: zijn naam werd verbonden aan wat

we vandaag de dag vooral kennen als het Higgs-mechanisme en het bijbehorende Higgsdeeltje (ook wel 'Higgsboson' genoemd). Eén auteur van een van de andere artikelen, François Englert, mocht wel meedelen in de Nobelprijs die in 2013 voor het idee werd toegekend – zijn mede-auteur, Robert Brout, was toen helaas al overleden. De auteurs van het derde artikel, Gerald Guralnik, Richard Hagen en Tom Kibble, kwamen ook voor die prijs niet in aanmerking – waarschijnlijk deels omdat de Nobelprijs aan ten hoogste drie personen tegelijk wordt toegekend.

Nu geldt in de natuurkunde, net zoals op veel andere plaatsen in de geschiedenis, helaas niet altijd 'ere wie ere toekomt' – zie bijvoorbeeld ook het artikel over het Matilda-effect dat Sumedha Biswas vorige week schreef. Het is ook altijd niet even eenvoudig te achterhalen van wie een goed idee nu écht is, en wie van verschillende ontdekkers het dichtst kwam bij de formulering die uiteindelijk de natuurkunde- en geschiedenisboekjes ingaat. Aan de bovengenoemde zes namen vallen er dan ook als je wilt nog wel meer toe te voegen – en praktisch wordt het er met namen als het London-Anderson-Englert-Brout-Higgs-Guralnik-Hagen-Kibble-Weinbergmechanisme uiteindelijk ook niet op. Hoe het ook zij, vandaag is de geboortedag van Gerald Guralnik, dus dat leek de Quantum Universe-redactie een mooi moment om in elk geval eens wat aandacht aan deze zes ontdekkers van het "Higgs"-mechanisme te geven.

Hoe maak je massa?

De vraag die de drie artikelen uit 1964 beantwoordden – elk op een vergelijkbare maar toch net iets andere manier – was: hoe kun je een quantumveldentheorie formuleren waarin de zogeheten 'ijkdeeltjes' massa hebben? IJkdeeltjes zijn deeltjes zoals het bekende foton: deeltjes die horen bij een bepaalde kracht (in het geval van het foton de elektromagnetische kracht) en die uitgewisseld worden tussen andere deeltjes wanneer de kracht uitgeoefend wordt.

Het foton zelf heeft geen massa; dat is uiteindelijk de reden dat licht, elektromagnetische straling dus, zonder enige moeite gigantische afstanden in het heelal kan overbruggen. Maar de ijkdeeltjes die horen bij de andere microscopische natuurkrachten – de sterke en de zwakke kernkracht – hebben wel een massa. We weten dat uit de praktijk: de kernkrachten werken alleen over korte afstanden, en in experimenten kunnen we de massa van de

bijbehorende ijkdeeltjes (de W- en Z-bosonen voor de zwakke kernkracht, de gluonen voor de sterke kernkracht) meten. Het probleem was alleen: om ook een theoretisch formalisme te bedenken waarmee je de massa van zulke deeltjes kunt beschrijven, dat bleek nog niet mee te vallen!

Een goed idee was er wel, ook al vóór het verschijnen van de drie artikelen in 1964: spontane symmetriebreking. Kort gezegd is het mogelijk om wiskundige theorieën op te schrijven die in de basis een bepaalde symmetrie hebben, maar waarvan de uiteindelijke realisatie (de 'oplossing') diezelfde symmetrie niet heeft. Denk als voorbeeld aan rotatiesymmetrie: als we alles in het heelal rond een bepaald punt (laten we zeggen: het middelpunt van de aarde) over een bepaalde hoek zouden ronddraaien, zou het nieuwe geroteerde heelal volkomen ononderscheidbaar zijn van het heelal dat we al hadden. Dat neemt echter niet weg dat het daadwerkelijke heelal zelf niet rotatiesymmetrisch is: een stukje heelal in de ene richting kan er heel anders uitzien dan een stukje heelal in de andere richting. De theorie is dus rotatiesymmetrisch, de oplossing niet – de symmetrie is "spontaan gebroken".

Massa weg, massa terug…

Een vergelijkbare truc, maar dan met een heel andere symmetrie, blijkt het toe te staan om ijkdeeltjes in een quantumveldentheorie op te nemen die een massa hebben. De theorie zelf heeft altijd een "voorkeur" voor het mooie symmetrische geval waarin alle massa's nul zijn, net als die van het foton. De reden voor die voorkeur is wiskundig van aard: het blijkt dat de theorie dan renormaliseerbaar is – wat in feite wil zeggen dat we aan de theorie kunnen rekenen zonder onfysische, oneindig grote antwoorden te krijgen. Massieve ijkdeeltjes lijken dus uitgesloten, maar ook hier kunnen gelukkig oplossingen geconstrueerd worden waarin de symmetrie gebroken is en de deeltjes wél massa hebben.

Het probleem was: deze oplossing leek oorspronkelijk niet te werken. De reden was een wiskundige stelling van de Britse fysicus Jeffrey Goldstone, die aantoonde dat in een dergelijk geval meestal weer éxtra deeltjes in de theorie voorkwamen, en dat die deeltjes vervolgens wel weer massaloos waren. Massaloze deeltjes zijn heel makkelijk in experimenten te produceren – net zoals licht heel makkelijk "gemaakt" kan worden – maar zulke deeltjes waren in de natuur nog nooit gezien… Het probleem van de (ontbrekende) massa kwam via een achterdeur dus weer terug.

De oplossing bleek te vinden in de precieze details van de stelling van Goldstone: die deed bepaalde aannames, en niet al die aannames hoefden in theorieën met ijkdeeltjes waar te zijn. De artikelen uit 1964 vonden de mazen in het door Goldstone opgespannen wiskundige net, en beschreven hoe ijktheorieën tóch spontane symmetriebreking konden vertonen, zonder dat de extra deeltjes zelf weer massaloos zouden zijn.

Een mooie prestatie, die natuurlijk extra glans kreeg toen bleek dat de natuur ook daadwerkelijk van deze mogelijkheid gebruik maakt. Dat werd volledig duidelijk in 2012, toen op het CERN een nieuw deeltje ontdekt werd – het door Goldstones stelling voorspelde deeltje, dat inderdaad verre van massaloos was: het “Higgsdeeltje” is zelfs een van de zwaarste elementaire deeltje dat we op dit moment kennen!

Meer weten?

De vraag wie de eer voor een bepaalde ontdekking moet krijgen is altijd een lastige, en kan tot ellenlange discussies onder historici leiden. Het is in elk geval goed om te beseffen dat natuurkunde zelden een eenpersoons-onderneming is, en dat er naast degene die zijn of haar naam aan een verschijnsel mag verbinden, eigenlijk altijd wel anderen zijn die ook een deel van de eer verdienen. De zes auteurs van de PRL-artikelen kregen overigens ook wel wat gedeelde eer – zo wonnen ze in 2010 gezamenlijk de J. Sakurai-prijs van de American Physical Society.

Wil je meer weten over de geschiedenis van de ontdekking van het “Higgs”-mechanisme, dan is deze wikipedia-pagina een goed startpunt. Het artikel zelf is wat technisch, maar in de links onderaan zijn ook meer populairwetenschappelijke bronnen te vinden.