



De snelste weg van Amsterdam naar Genève



De ATLAS-detector in aanbouw.
CERN

Laaghangend fruit

Metingen van A Toroidal LHC ApparatuS (ATLAS) bewezen in 2012 samen met die van collegadetector CMS het bestaan van het higgsboson. Nikhef-onderzoekers hebben onder andere de buitenste laag van ATLAS ontworpen, gebouwd en getest. Ook hebben ze hard- en software ontwikkeld voor de metingen. Nu werken ze vooral aan gegevensanalyse en de ontwikkeling van nieuwe onderdelen. ATLAS heeft grofweg twee nieuwe doelen: het higgsdeeltje beter in kaart brengen en

nieuwe fysica ontdekken (zie hoofdverhaal). Het eerste lukt tot dusver vrij goed. 'We hebben nu al meer data dan na de eerste run', zegt Nicolo de Groot, ATLAS-programmaleider bij Nikhef. Nieuwe fysica ontdekken blijkt lastiger. De simpelste mogelijkheid tot supersymmetrie is al vrijwel uitgesloten. Volgens De Groot is dat echter niet funest. 'Astronomische gegevens wijzen erop dat we niet het laaghangende fruit moeten plukken, maar de iets geavanceerdere opties moeten uitzoeken.'

Nikhef heeft al sinds de oprichting een innige band met deeltjesmekka CERN. Die samenwerking leidde onder andere tot het higgsdeeltje en het www. En de koek lijkt nog lang niet op.

Door Yannick Fritschy

T oets 1 voor hulp, 2 voor info over Nikhef, 3 voor info over CERN en 5 voor hoge-energiefysica. Nee, dit is niet het keuzemenu van een of andere deeltjesfysica-infolijn. Deze tekst stond in 1992 op de eerste versie van de derde website ter wereld: www.nikhef.nl.

Het World Wide Web is een mooi voorbeeld van hoe fundamenteel natuurkundig onderzoek onverwachte, wereldveranderende toepassingen kan hebben. De eerste websites waren namelijk in het leven geroepen om uitwisseling van data tussen onderzoeksinstituten te vergemakkelijken.

Weliswaar bestonden internet en email al jaren, maar de immense hoeveelheden gegevens die bij deeltjesexperimenten tevoorschijn komen, zijn lastig per mail te versturen. Vandaar dat Nikhef zich kort na het Amerikaanse instituut SLAC aansloot op het door CERN ontwikkelde www.

Dat Nikhef er als de kippen bij was om een website te lanceren, zegt veel over de innige band die het heeft met CERN. Sinds de oprichting in 1975 is het Nederlandse instituut steeds meer betrokken geraakt bij de baanbrekende experimenten in Genève.

In de beginperiode deed Nikhef vooral op afstand mee. In die tijd werd net een nieuwe deeltjesversneller bij CERN in gebruik genomen: de Super Proton Synchrotron (SPS). Het was de eerste versneller

Al drie decennia zit Nikhef steevast op de eerste rij

waarvoor een cirkelvormige tunnel werd uitgegraven, zodat fysici twee bundels van protonen op elkaar konden laten botsen.

Om te reconstrueren wat er precies gebeurt bij zo'n protonenbotsing, moet je weten welke interacties de deeltjes aangaan die na zo'n clash als bijproduct tevoorschijn komen. Daarom werkten Nikhef-onderzoekers in die tijd vooral aan experimenten waarmee ze het gedrag van deeltjes zoals neutrino's in kaart brachten.

Indirect droegen ze daarmee bij aan de grote vondst van SPS: de W- en Z-bosonen, de deeltjes die verantwoordelijk zijn voor de zwakke kernkracht.

Bij de volgende onderzoeken zat Nikhef steevast op de eerste rij. Het instituut nam deel aan twee van de vier experimenten van de volgende CERN-deeltjesversneller: de Large Electron-Positron Collider, kortweg LEP, vanaf 1989 in bedrijf. Bij die experimenten heeft Nikhef een groot aantal detectoronderdelen gebouwd. Voor een van de LEP-experimenten (L3) maakten Nikhef-technici bijvoorbeeld maar liefst 34 'dradenkamers'. Dat zijn constructies van vele evenwijdige draden die onder hoogspanning staan en stroompulsjes afgeven als een geladen deeltje passeert.

Met de LEP-experimenten brachten fysici de eigenschappen van de W- en Z-deeltjes verder in kaart. Ook leverden ze een belangrijke fundamentele ontdekking op, namelijk dat elementaire materiedeeltjes zoals quarks en elektronen allemaal in drie generaties voorkomen. De lichtste generatie kenden we al van de materie om ons heen, maar met de LEP-gegevens werd definitief bewezen dat elk materiedeeltje twee zwaardere, instabiele kopieën heeft.

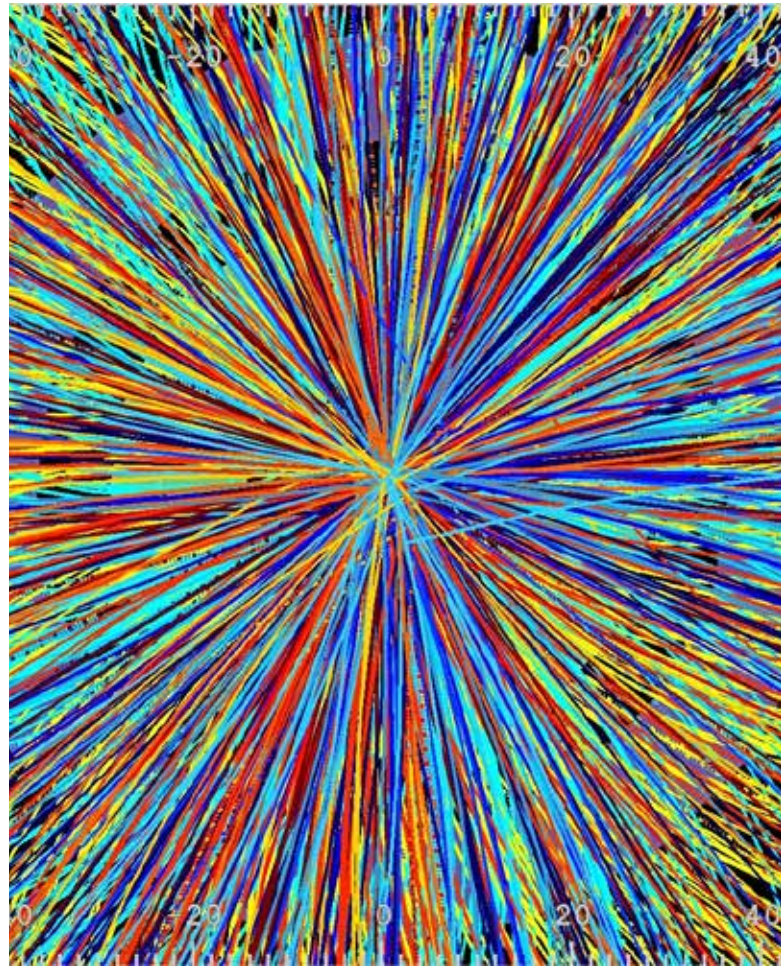
Waarom er van elk materiedeeltje precies drie generaties zijn, is nog onbekend. Het zou zomaar iets te maken kunnen hebben met de manier waarop deeltjes hun massa krijgen. Dat gebeurt via het higgsboson: lange tijd het laatste ontbrekende puzzelstukje uit het standaardmodel van de

Terug naar de oerknal

Met de ALICE-detector onderzoeken fysici botsingen van zware atoomkernen. Ze hopen zo meer te leren over quarks: de deeltjes waaruit onder andere protonen en neutronen zijn opgebouwd. Quarks zijn onder normale omstandigheden niet los van elkaar te krijgen. Waarom dit zo is, weten fysici niet. Ook weten ze niet precies waarom een proton honderd keer zo zwaar is als de drie quarks waaruit het is opgebouwd bij elkaar.

Door zware atoomkernen met bijna de lichtsnelheid op elkaar te laten botsen, brengen de ALICE-onderzoekers quarks in een gloeiendhete toestand – zo'n 100.000 keer zo warm als in het centrum van de zon. In zo'n 'quark-gluon-plasma' zijn de quarks afzonderlijk bestudeerbaar. Zo hopen de onderzoekers bovendaande twee vragen te beantwoorden. Ook geeft het experiment inzicht in het vroege heelal. Vlak na de oerknal was dat volgens de huidige theorieën namelijk gevuld met een quark-gluon-plasma.

ALICE heeft tot nu toe al veel nieuwe informatie opgeleverd. 'De viscositeit van het quark-gluon-plasma blijkt totaal anders dan we tien jaar geleden dachten', zegt Raimond Snellings, ALICE-programmaleider bij Nikhef. Nikhef draagt veel bij aan het up-to-date houden van ALICE. Snellings: 'We hebben meegebouwd aan de huidige siliciumdetector, maar die wordt bij de volgende upgrade vervangen. Wij zullen vooral aan de buitenste delen van de nieuwe detector werken.'



Deze kleurenpracht kwam voort uit de allereerste ALICE-metingen van botsende loodionen. CERN

deeltjesfysica. Dit deeltje werd in 2012 gevonden met de Large Hadron Collider (LHC), die na de sluiting van de LEP in dezelfde tunnel was gebouwd.

De vondst van het higgsdeeltje kwam op naam van het ATLAS- en CMS-experiment. Het was een baanbrekend resultaat, maar dat betekent niet dat de onderzoekers van ATLAS (en die van Nikhef, zie kader p.13) nu op hun lauweren kunnen rusten. Fysici gaan ervan uit dat er nog heel wat deeltjes bestaan die momenteel buiten het Standardmodel vallen. Dat moet wel, want volgens de huidige theorieën bestaat 85 procent van de materie in het heelal uit onbekend spul: de beruchte donkere materie.

Daarom is de LHC de afgelopen jaren opgeschaald naar een nog hogere energie: van 7 naar 13 Tera-elektronvolt per botsing. Met deze ontzagwekkende energie hopen fysici nieuwe deeltjes te creëren met de juiste eigenschappen om donkere materie te kunnen zijn. Dat moeten deeltjes zijn die behalve via de zwaartekracht nauwelijks met andere deeltjes reageren. De ATLAS-onderzoekers speuren vooral naar supersymmetrische deeltjes: zware

tweelingbroers van de huidige deeltjes. In theorie kunnen dit soort deeltjes bestaan, maar in experimenten zijn ze nog nooit waargenomen.

Eind 2015 lichtten de harten van de mensen van ATLAS even op, toen ze een piekje in de LHC-gegevens zagen dat ze niet direct konden verklaren. Meteen gonsde het van de geruchten: was het een tweede higgsdeeltje, of misschien zelfs een zo vurig gewenst supersymmetrisch deeltje? Uiteindelijk bleek het piekje na veel extra metingen toe te schrijven aan statistische ruis. Jammer, maar niet geheel onverwacht, volgens ATLAS-programmaleider Nicolo de Groot. 'Natuurlijk was het even spannend, maar de buitenwereld maakte er een stuk meer van dan de onderzoekers.'

Het ontdekken van een nieuw deeltje is volgens De Groot lastiger dan in 2012. 'In tegenstelling tot bij het higgsdeeltje weten we nu niet precies waar we moeten zoeken,' zegt hij. 'Er zijn genoeg aanwijzingen dat nieuwe deeltjes bestaan, maar is de LHC krachtig genoeg om ze te vinden?' Maar ook als er geen deeltje gevonden



Bij de LHCb-detector staat de b voor beauty. CERN

wordt, is er volgens De Groot sprake van vooruitgang. 'De limieten schuiven naar elkaar toe. De minimale massa van supersymmetrische deeltjes is al een stuk omhoog gegaan, doordat we ze bij de huidige botsingen niet hebben gezien. De massa kan ook niet al te hoog zijn, omdat ze dan niet goed in de huidige theorieën passen.'

Een grootse ontdekking laat van de kant van ATLAS dus waarschijnlijk nog even op zich wachten. Misschien komt zo'n ontdekking wel eerder uit een andere hoek. Naast ATLAS en CMS zijn er namelijk nog twee belangrijke detectoren gericht op de LHC – allebei met flinke Nikhef-inbreng.

Een van die twee is de ALICE-detector. Daarmee onderzoeken deeltjesfysici het heelal zoals het vlak na de oerknal eruit zag (zie kader p. 14). Raimond Snellings is namens Nikhef programmaleider van het ALICE-experiment. Dat heeft tot nu toe geen wereldschokkend, higgsachtig resultaat opgeleverd, maar Snellings is hoopvol. 'De volgende grote ontdekking kan van alle drie de experimenten komen, maar ik geef ALICE en LHCb een iets grotere kans dan ATLAS,' zegt hij. 'Wij bestuderen momen-

Verboden verval

In het LHCb-experiment staat het 'beauty-quark' centraal. Dit deeltje kan de sleutel zijn tot het oplossen van een groot natuurkundig mysterie. Volgens de huidige theorieën was er vlak na de oerknal evenveel materie als antimaterie. Waarom zien we dan louter materie om ons heen?

Het LHCb-team vergelijkt het beauty-quark met zijn tegenpool, het anti-beauty-quark. Deze deeltjes komen in de natuur niet voor, maar ontstaan wel uit botsingen in de LHC. De onderzoekers hopen minime verschillen in hun eigenschappen te zien die het materiemysterie oplossen.

Mogelijk spelen onontdekte deeltjes daarbij een rol. 'Bij het verval van een b-deeltje kan een tau-deeltje of muon tevoorschijn komen. In theorie

heeft de natuur geen voorkeur voor een van die twee', vertelt Marcel Merk, LHCb-programmaleider bij Nikhef. 'Wij hebben aanwijzingen gevonden dat er wel een afwijking is. Als dat zo is, is er een onbekende kracht in het spel.'

Volgens Merk is het niet ondenkbaar dat LHCb zo'n nieuw krachtdeeltje zal ontdekken. 'We stonden al in *Nature* met onze detectie van 'verboden verval', zegt hij. 'Dat is een vervalvorm die in theorie één op de drie miljard keer voorkomt. Als dit vaker of minder vaak gebeurt, wijst dat op een nieuw zwaar deeltje.'

Nikhef loopt voorop in deze jacht. Merk: 'We hebben twee cruciale detectoronderdelen gebouwd. Ook gaven onze postdocs leiding aan de analyse van het verboden verval.'

'We kunnen elk moment een krachtdragend deeltje ontdekken dat niet voorkomt in het standaardmodel'

teel de effecten van grote magneetvelden op een quark-gluon-plasma. Als dat iets oplevert, is dat zeker voorpaginanieuws.'

De andere detector is de LHCb. Daarmee hopen onderzoekers te achterhalen waarom er zoveel meer materie dan antimaterie in het heelal is (zie kader boven). Volgens Marcel Merk, LHCb-programmaleider bij Nikhef, is een ontdekking van een nieuw deeltje op korte termijn zeker mogelijk. 'We hebben aanwijzingen dat er zware, krachtdragende deeltjes bestaan die niet in het standaardmodel voorkomen,' zegt hij. 'Afhankelijk van hoe zwaar zo'n deeltje precies is, kunnen we het elk moment ontdekken.' Eerder dan ATLAS? 'LHCb kan aantonen dat er veel zwaardere deeltjes bestaan

dan de deeltjes die in de LHC gemaakt worden,' zegt Merk. 'In dat opzicht liggen we voor op ATLAS. Maar uiteindelijk zijn zij het die nieuwe deeltjes meten.'

Je zou misschien een flinke concurrentiestrijd tussen de experimenten verwachten, maar volgens de programmaleiders is er vooral sprake van samenwerking. Het bepalen van welke deeltjes in de LHC op elkaar zullen botsen, gaat bijvoorbeeld in goed overleg. Snellings: 'Wij kijken vooral naar botsingen van zware atoomkernen, maar protonbotsingen zijn voor ons ook interessant. En tegenwoordig kijken ATLAS en CMS ook naar zware ionen. Alle onderzoekers zijn dus het hele jaar door tegelijk aan het meten. Er zijn hooguit wat discussies over experimentele details.'

Samenwerking staat dus centraal: tussen de verschillende experimenten op CERN, en tussen CERN, Nikhef en alle andere deelnemende instituten. Met man en macht jagen fysici op de volgende fundamentele ontdekking. En als die niet komt, dan nog kan zo'n samenwerking iets heel moois opleveren. Vraag maar aan de makers van het World Wide Web. ■