

Voorjaar
2021

Nikhef

Nationaal
instituut voor
subatomaire fysica

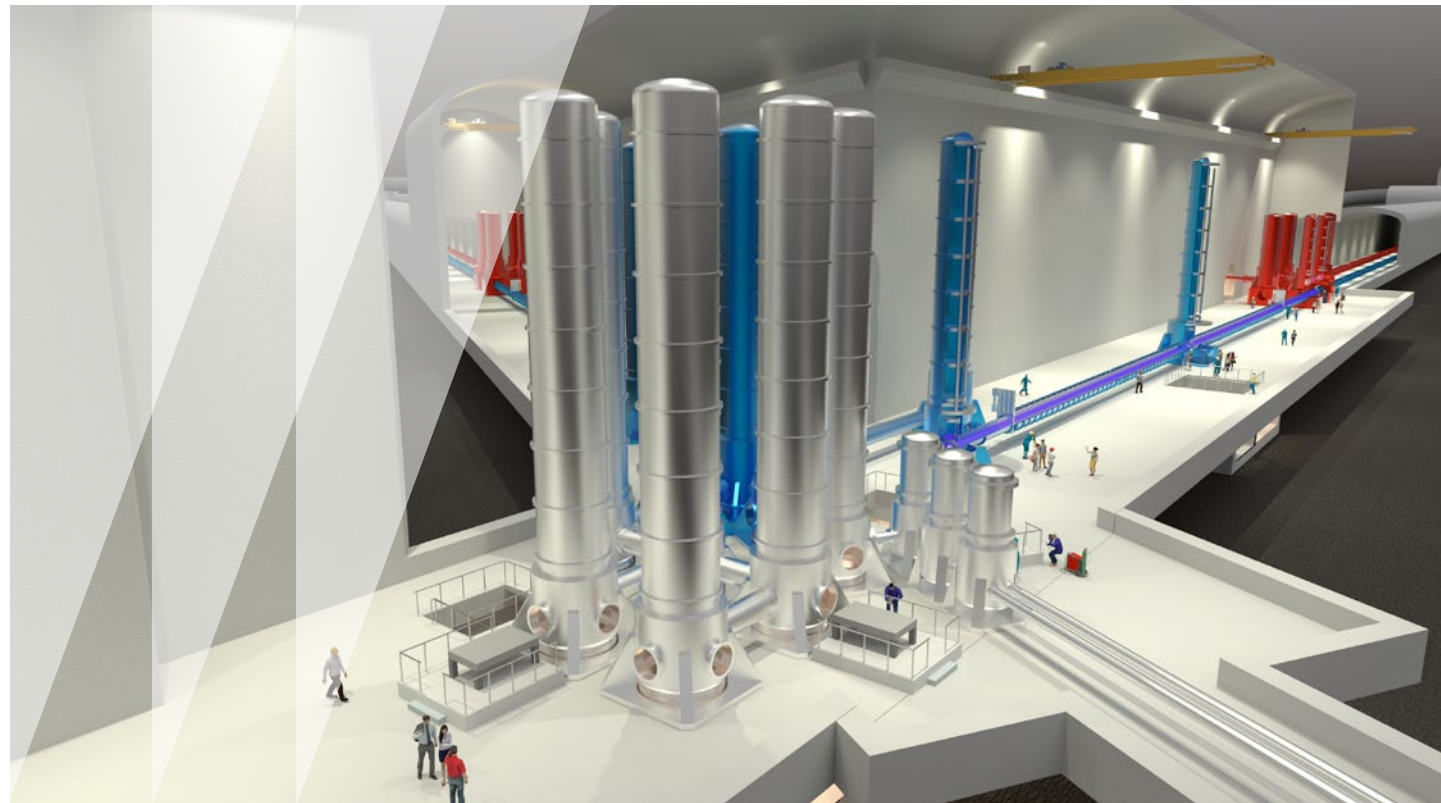
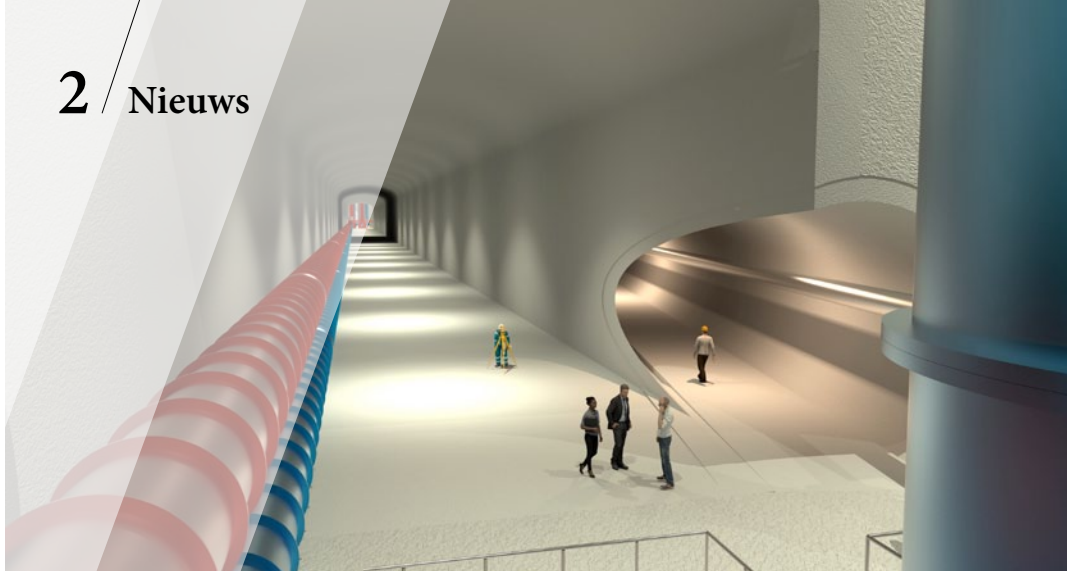
DIM ENS IES

HERSTART

Nikhef sleutelt mee aan
nog betere experimenten
op CERN

REKENKRACHT

Deeltjesonderzoek kan niet
zonder computers en snelle
verbindingen



Dwalen door de Einstein Telescope

In de nieuwe animatie van Marco Kraan zweef je door de toekomstige Einstein Telescope. Je gaat door de gangen, langs lasers en cleanrooms van dit ondergrondse observatorium voor zwaartekrachtsgolven. Het maken van deze animatie was een grote klus die maanden duurde.

De basis is een 'kaal' 3D-CAD-model, mede gemaakt door Martin Doets. Kraan voegde daar zaken aan toe die interessant zijn voor de animatie, zoals realistische materialen en verlichting. Het geheel importeerde hij vervolgens in animatiesoftware. 'En dat was nog een heel gedoe,' zegt Kraan 'Ik heb er veel tijd in gestopt. Tussen kerst en oud en nieuw keek ik iedere dag even snel tussendoor of de rendering wel goed liep. Ik had het nog nooit eerder zo gedaan. Het model was ook zo enorm groot, dat de software er moeite mee had. En ik zit nog in een leerproces en was daardoor veel aan het *strugglen* met de rendersoftware.'

Na anderhalve week renderen had hij 5500 afbeeldingen, waarvan een deel niet goed was en er handmatig uitgehaald moest worden. Alle goede afbeeldingen zette hij vervolgens in videosoftware. Daarin voegde hij nog meer animaties toe die hij in andere programma's gemaakt had, en bewerkte hij alles tot een film. Kraan ziet de animatie vooral als een kunstproject. 'Het is net een schilderij dat je stap voor stap opbouwt. Het is in ieder geval niet een kwestie van één druk op de knop en het is klaar.' Veel werk dus. Waarom hij het toch doet? 'Omdat ik hier mijn creativiteit erg goed in kwijt kan, ik word er simpelweg gelukkiger van.'

Benieuwd naar de animatie? Kijk dan op het Nikhef YouTube-kanaal



Illustraties: Marco Kraan



We kijken weer vooruit

Ruim twee jaar geleden werd op CERN in Genève de Large Hadron Collider uitgezet voor onderhoud en verbeteringen van de versneller en de deeltjesexperimenten. De teams van Nikhef stonden klaar om de verschillende onderdelen te installeren. In het eerste nummer van ons Nikhef-magazine beschreven we destijds hoe er werd gewerkt aan de drie grote detectoren waarbij we als Nederlands instituut nauw betrokken zijn. De deadline was ook helder. Eind 2021 moest alles weer op orde zijn.

In dit nieuwe nummer van DIMENSIES leest u hoe het er nu voorstaat met de upgrades van de experimenten. Er is hard gewerkt en veel gedaan. En ondanks de beperkingen in verband met de coronapandemie lijkt de vertraging helemaal niet zo groot te worden. Het ziet ernaar uit dat de LHC-versneller in het voorjaar van 2022 weer zal draaien. Dan maken de experimenten nieuwe en nog betere beelden van botsende deeltjes. Voor een instituut als Nikhef is dat iets om enorm naar uit te kijken.

Ook in andere verhalen in deze DIMENSIES kijken we reikhalzend uit naar de toekomst. Denk daarbij aan zwaartekrachtsgolven. In Italië installeren we momenteel nieuwe onderdelen die de metingen nog preciezer zullen maken. En dichterbij huis zullen we u op de hoogte blijven houden van de ontwikkeling van een nieuwe R&D-faciliteit voor zwaartekrachtsgolven in Maastricht. Daarover meer in een volgende editie.

In ons rekencentrum op de tweede verdieping van het instituut in Amsterdam worden niet alleen berekeningen gedaan, maar ook nieuwe, snellere en slimmere computers en netwerken gebouwd. Dat is nodig om de toekomstige experimenten bij te kunnen benen. De restwarmte die dit centrum oplevert wordt onder andere gebruikt om studentenwoningen te verwarmen. Dit onderdeel van de duurzaamheidsagenda speelt een belangrijke rol in het maken van de keuzes voor Nikhef, zoals u van Arjen van Rijn kunt vernemen in dit nummer.

Investeren in de toekomst gebeurt niet alleen in de hardware, maar ook in het aantrekken van mensen. Nikhef is trots om een heel aantal nieuwe en talentvolle collega's te kunnen verwelkomen, waarover u ongetwijfeld nog veel zult horen. In dit nummer richten we de aandacht op maar liefst drie nieuwe onderzoekers met een Veni-beurs, met ambitieuze plannen en zin in de wetenschap. Daarnaast deelt spraakmakend Nikhef-onderzoeker Samaya Nissanke haar passie voor zwaartekrachtsgolven. Ook tijdens deze pandemie blijft het onderzoek van Nikhef inspirerend voor velen.

Stan Bentvelsen, directeur Nikhef

Over Nikhef

Nikhef is het Nationaal instituut voor subatomaire fysica. Het instituut doet onderzoek naar de elementaire bouwstenen van ons universum, hun onderlinge krachten en de structuur van ruimte en tijd.

Nikhef zoekt naar antwoorden op de grote natuurkundige vragen van deze tijd. Uit welke fundamentele bouwstenen bestaat de wereld om ons heen? Hoe is ons heelal ontstaan? Wat zijn de grondbeginnselen van de natuurwetten? Het onderzoek vindt plaats bij deeltjesversnellers als de Large Hadron Collider op CERN en met detectoren in de hele wereld voor kosmische deeltjes, donkere materie en zwaartekrachtsgolven.

Nikhef is een samenwerkingsverband op het gebied van (astro)deeltjesfysica tussen de institutenorganisatie van NWO en zes universiteiten: de Radboud Universiteit, de Rijksuniversiteit Groningen, de Universiteit van Amsterdam, de Universiteit Maastricht, de Universiteit Utrecht en de Vrije Universiteit Amsterdam.

Postbus 41882 Science Park 105
1009 DB Amsterdam 1098 XG Amsterdam
info@nikhef.nl +31 (0)20 592 2000

DIMENSIES voorjaar 2021

REDACTIE

Martijn van Calmthout, Vanessa Mexner, Martine Oudenhoven, Melissa van der Sande

AAN DIT NUMMER WERKTEN MEE

Ronald Blinderman (foto's), Marco Kraan (foto's & illustraties), Tristan Suerink (foto's), Matteo Tacca (foto's), Bas Uterwijk (foto's), Gieljan de Vries (tekst)

ONTWERP EN VORMGEVING

Enchilada (ontwerp), Naïm Niebuur studio (vormgeving)

OP DE COVER

Nikhef-engineer Krista de Roo en onderzoeker Wouter Hulsbergen werken in het lab in Amsterdam aan VELO-sensoren voor de LHCb-detector op CERN in Genève.
Foto: Marco Kraan

Volgend jaar maart gaat de LHC-versneller op CERN weer op volle kracht aan. Koortsachtig werken technici en wetenschappers, ook van Nikhef, aan verdere verbeteringen van hun experimenten.

Herstart in zicht

Kippenvelmomenten zijn het, Marco van Leeuwen van het ALICE-experiment op CERN kan het niet anders noemen. In het voorjaar van 2021 zakte een groot nieuw onderdeel van deze deeltjesdetector aan een kraan honderd meter omlaag naar de ondergrondse hal waar de detector staat. Bovengronds was er jaren aan gesleuteld. En nu was het moment daar dat de *Inner Tracking System* (ITS) eindelijk in de detector zou worden ingebouwd. Met honderdsten van een millimeter speelruimte. En vol delicate microelektronica.

Van Leeuwen keek mee, thuis in Utrecht op zijn laptop, vanwege de coronamaatregelen. De installatie lukte en inmiddels is het hele apparaat aangesloten en zijn de tests gaande. Van Leeuwen: 'De vernieuwing van ALICE gaat ondanks alles lukken. Voor eind september, als de eerste testbundels komen.'

ALICE is een van de drie grote experimenten op CERN waar Nederlandse onderzoekers via Nikhef aan verbonden zijn. De detector is speciaal ontworpen om

extreme botsingen van zware atoomkernen te bestuderen. Het idee is dat daarbij het type materie ontstaat dat ooit, zo'n 14 miljard jaar geleden, vlak na de oerknal bestond. ALICE bestudeert de processen die in dat quark-gluonplasma optreden.

De andere twee detectoren op CERN die deels Nikhef-werk zijn, ATLAS en LHCb, zijn experimenten waar individuele protonen botsen, geen hele kernen. Deze detectoren zijn op zoek naar bijvoorbeeld de precieze eigenschappen van het higgs-deeltje. Dat is weliswaar in 2012 ontdekt, op CERN en inmiddels beloond met een Nobelprijs, maar vragen zijn er nog te over.

Vertraging

De Large Hadron Collider op CERN, met 27 kilometer de grootste cirkelversneller op de wereld, moet volgend jaar maart weer op stoom zijn. In september komen de eerste testbundels. De versneller blijft in deze Run3 zeker twee jaar op volle energie aan, en levert volgens de planning ►

Nog intenser botsen

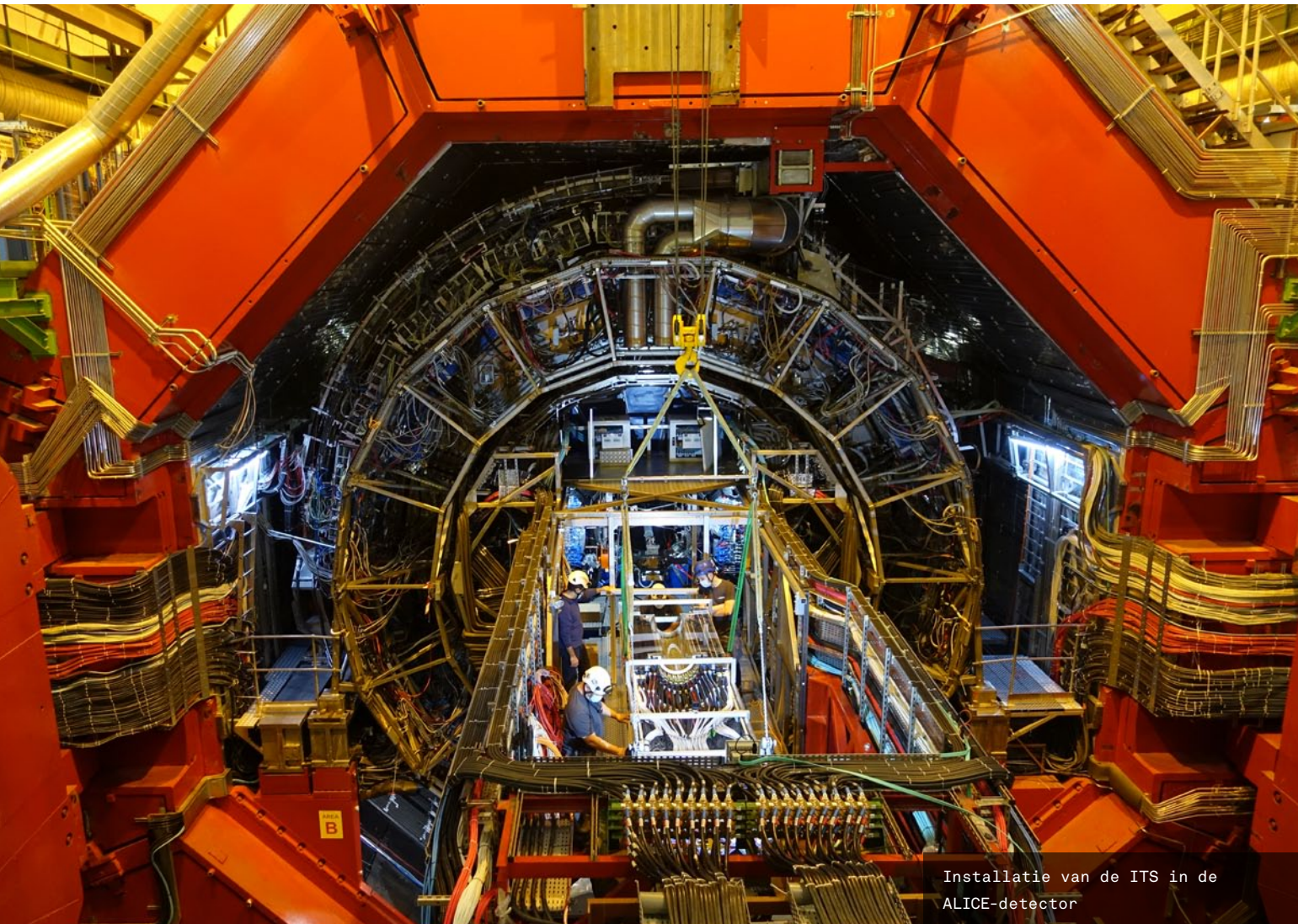
Tijdens de huidige versnellerpauze neemt CERN ook al een voorschot op een toekomstige nieuwe levensfase voor de bestaande Large Hadron Collider. De komende jaren zal de LHC nog in de huidige vorm werken, zij het voor het eerst met een maximale energie.

Maar in de volgende lange shutdown, de derde in de LHC-historie, is het de beurt aan de *high luminosity LHC*. Die HL-LHC machine zal de intensiteit van de protonenbundels vertienvoudigen, waardoor nog veel meer botsingen worden gemaakt en dus meer meetgegevens voor de deeltjesfysici van CERN en elders. 'We willen het onderste uit de kan halen', zegt hoofd versnellerdivisie Rende Steerenberg, een Nederlander in dienst van CERN. Nikhef is overigens niet rechtstreeks bij de bouw van de nieuwe versneller betrokken, maar is in de toekomst via de experimenten zeker wel een gebruiker.

De HL-LHC versneller hergebruikt in principe de bestaande 27 kilometer lange LHC-ring, maar wel met forse aanpassingen. De afgelopen jaren is er een nieuw ondergronds complex gebouwd waar nieuwe koelinstallaties en hoogspanning voor de eigenlijke versneller komen. Het graaf- en bouwwerk leverde heldhaftige beelden op in de media.

Belangrijker nog zijn de nieuwe stuurmagneten die de superintense bundels door de versneller moeten geleiden en met elkaar in botsing brengen. Daarbij wordt onder meer gewerkt met zogeheten *crab cavities*, die de protonenbundels voor de botsing scheef zetten zodat ze elkaar over een groter oppervlak raken en meer treffers geven. Aan die onderdelen wordt nu op CERN en elders al gebouwd zodat ze in de volgende versnellerpauze LS3 kunnen worden geplaatst. De HL-LHC zal in 2027 in bedrijf komen.





Installatie van de ITS in de ALICE-detector

dan evenveel protonenbotsingen als in alle jaren hiervoor samen. De verdubbeling van de data geeft onderzoekers veel scherper zicht op details in de deeltjesprocessen, is het idee.

Het CERN-management liet rond de jaarwisseling het nieuwe werkplan rondgaan. Maart 2022 is maanden later dan ooit de bedoeling was, maar is in feite een mirakel na alle problemen die het coronavirus heeft veroorzaakt. CERN was een tijdlang gesloten en is sindsdien nog steeds maar beperkt toegankelijk. Technici, studenten, wetenschappers: alleen wie er echt moet zijn, mag erin. Onder strikte veiligheidsmaatregelen, zeker ondergronds. Bij technische klussen kijken betrokken ingenieurs vaak online mee met de werkzaamheden ter plekke. Niet ideaal. Maar het gaat, zeggen betrokkenen.

En het is druk geweest. In de huidige versnellerpauze op CERN zijn de elektrische aansluitingen van alle 1232

supergeleidende magneten in de 27 kilometer grote versnellerring een voor een opengemaakt, bekeken en getest.

Kort na de start in september 2008 leidde een akelige kortsluiting tot een heliumexplosie die de versneller flink ontwrichte en vraagtekens zette bij de rest van de aansluitingen. Na reparaties werd uit voorzorg besloten om voorlopig niet bij de hoogste botsingsenergie te werken. Nu is eindelijk wel het plan om tot botsingen van 14 TeV te gaan.

Alle magneten zijn dit voorjaar al afgekoeld en ondergaan nu een trainingsprogramma om de extreme magnetische krachten te doorstaan zonder dat er intern iets beweegt of verschuift. In september moeten de eerste testbundels al door de LHC bewegen, is nu de planning. Mits de magneettraining goed verloopt.

Drastische make-over

Voor het **ALICE-experiment** is de huidige versnellerpauze het moment voor een dras-

tische makeover. De grote rode deuren van de detector staan al sinds eind 2019 wagenwijd open. Eerst is een groot deel van de bestaande onderdelen weggehaald. Sinds vorig najaar beginnen nieuwe componenten te arriveren, zoals de grote TPC, de *Time Projection Chamber* die als een trommel het binnenste van de detector omsluit en deeltjessporen vastlegt. In december zakte de *Muon Forward Tracker* de schacht in voor montage helemaal achterin de TPC. Ook dat ging goed.

Sinds dit voorjaar zit na een bloedstollende afdaling van het delicate gevaarte aan de kraan ook de nieuwe ITS op zijn plaats, het *Inner Tracking System* waaraan ook het ALICE-team van Nikhef met onder meer Paul Kuijer hard heeft gewerkt. ITS bestaat uit concentrische lagen van superlichte ladders gemaakt van koolstofvezels, met daarop detectorchips van silicium die passerende deeltjes gaan registreren, als een enorme digitale camera.

Dat gebeurt dan volledig digitaal en pal



Werk aan de SciFi-modulen voor de LHCb-detector

op de bundel van botsende protonen, wat veel meer details zal gaan opleveren. Bovendien is het geheel veel sneller dan voorheen; voor het eerst zal ALICE alle metingen echt kunnen registreren en in realtime vastleggen.

'Ik kan niet wachten', zegt Van Leeuwen over de inzichten die dat kan gaan opleveren. Nikhef-technici monteerden de afgelopen jaren in de Amsterdamse labs handmatig de nieuwe sensorchips en koelingen op een flink deel van de ITS-ladders. Nikhef-postdocs werkten op CERN mee aan het bovengrondse testprogramma van het nieuwe hart van ALICE.

Buitenbeentje

Een soortgelijke grote makeover is er gaande bij het **LHCb-experiment** op toegangspunt A in de LHC-tunnel, vlakbij het vliegveld van Genève. LHCb, met een belangrijke inbreng van Nikhef, is op zijn eigen manier ook een buitenbeentje tussen de protonexperimenten op CERN.

De detector is speciaal ontworpen voor zogeheten *flavour*-fysica, de natuurkunde van de verschillen tussen deeltjessoorten. In het Standaardmodel van de deeltjesfysica zijn zes soorten quarks en zes soorten leptonen bekend, verdeeld over drie families. Waarom dat er drie zijn is een van de fundamentele vragen waarop de LHCb-fysici antwoorden proberen te vinden. Daarnaast bestuderen ze verschillen tussen deeltjes en antideeltjes.

Tijdens de huidige versnellerstop is ongeveer driekwart van de LHCb-detector gesloopt om plaats te maken voor nieuwe en betere componenten. De heropbouw is sinds de zomer van 2020 op gang, maar heeft behoorlijk last van de coronacrisis die veel technisch werk vertraagt of belemmert. Technici van onder meer Nikhef ontmantelden vorig jaar wel de zogeheten VELO, een apparaat dat precies moet aanwijzen waar in de detector de botsing plaatsvond die gemeten deeltjes hebben veroorzaakt.

Nikhef produceerde met de freesrobots in de mechanische werkplaats in Amsterdam de dunwandige aluminium omhulling van de VELO, de zogeheten *RF box*. Inmiddels is die geplaatst in het experiment.

Ook in Amsterdam wordt met eindeloos geduld handmatig een deel van de sensoren en elektronica in de VELO vastgelijmd en aangesloten, zelfs onder de microscoop een priegelwerk. De componenten worden momenteel in een race tegen de klok geassembleerd in de schone ruimte van Nikhef. 'De eerste modules zijn gemaakt maar het is een grote uitdaging om de hele detector gereed te hebben voor de herstart in 2022', zegt LHCb-programmaleider Marcel Merk van Nikhef in alle eerlijkheid.

Alle aanpassingen worden gedaan met het oog op de intensere bundels in de LHC in de toekomst, maar zullen ook de komende meetperiode met de gewone LHC al goed van pas komen, verwacht Merk. ►



New Small Wheels heten 'klein', maar zijn wel 9,3 meter groot

Behalve aan de eigenlijke detectoren wordt ook al een begin gemaakt met een aanpassing van de computercapaciteit bij LHCb. Voor het eerst zullen zogeheten grafische processoren ingezet worden, rekeneenheden uit de gamingwereld die goed zijn in massale gelijktijdige berekeningen. Nikhef is hierbij een van de aanjagers (zie ook elders in deze DIMENSIES).

Net zo spannend is dit voorjaar het andere LHCb-onderdeel waarbij Nikhef nauw betrokken is, de zogeheten SciFi-detectoren. Dat zijn enorme meterslange panelen die in de detector hangen en lichtflitsjes produceren als er geladen deeltjes van de botsingen doorheen bewegen. In de scintillatiepanelen voeren glasvezels het licht naar elektronica aan

de rand. Die elektronica pikt de signalen op en stuurt ze door naar de buitenwereld. De installatie van SciFi is een grote klus waarvoor dit jaar nog maar voldoende mensen met expertise op CERN gevonden moeten worden, zegt Merk. 'Door corona is er erg weinig speelruimte. We kunnen er niet heen, alles moet op afstand. Lastig.'

Reuzenwielen

Bij de ATLAS-detector, het derde experiment op CERN waar Nederland via Nikhef in deelneemt, zijn de aanpassingen deze versnellerpauze niet zo radicaal. Maar zelfs kleine verbeteringen zijn bij de grootste deeltjesdetector ter wereld nog steeds imposant.

Twee Nikhef-technici werkten een

aantal maanden op CERN mee aan de opbouw van de twee zogenoemde *New Small Wheels* (NSW). In tegenstelling tot wat je zou verwachten op basis van hun naam, zijn dit 9,3 meter grote schijven met muon-detectoren. Deze schijven zullen aan beide uiteinden van de enorme detector worden geplaatst om een nog vollediger beeld van protonbotsingen te kunnen maken. Cruciaal daarbij is ook een grote innovatie vanuit Nikhef in de uitleeselektronica. Daarvoor is de zogeheten *Felix-readout* ontwikkeld, die in de komende meetperiode zal worden getest. Gaat dat goed, dan zal de techniek in de daarop volgende versnellerpauze in heel ATLAS worden ingebouwd.

Het eerste 'kleine' wiel wordt dit jaar na bovengrondse tests naar het ATLAS-experiment ondergronds getakeld en wordt daar gemonteerd en aangesloten. De tweede NSW is nog volop onder constructie, maar de beslissing of ook die nog moet worden ingebouwd hangt nog. Als er voor de start genoeg tijd overblijft, doen we het, is nu de inzet.

Heel veel tijd is er eerlijk gezegd niet meer, zegt ATLAS-fysicus Tristan du Pree van Nikhef. Hij werkte mee aan het optische uitlijnsysteem met lasers en camera's voor de *New Small Wheels*, een Nikhef-specialiteit. Zonder uitlijning weten fysici niet precies waar de deeltjessporen in de meer dan huizenhoge constructie met muonkamers zich precies bevinden.

Nikhef is wat betreft de ATLAS-detector nu al sterk gefocust op de verdere toekomst. Na de huidige stop en de komende derde meetperiode krijgt deze detector zijn grote upgrade. Nikhef ontwikkelt, met vele anderen, een nieuwe centrale detectoreenheid, de ITk (*Inner Tracker*). Die moet rond 2026 klaar zijn om het oude hart van ATLAS te vervangen. Het nieuwe detectorhart moet de lawines aan botsingen in de intense HL-LHC versneller kunnen behappen. Het menshoge cilindervormige apparaat heeft een superlichte maar zeer stijve draagconstructie die op Nikhef is ontworpen. ITk zal daartoe worden uitgerust met digitale silicium sensoren en veel sneller en preciezer worden dan het huidige centrale systeem, dat alweer twintig jaar oud is. 'Veel werk, heel veel werk. Maar we hebben nog even', zegt ITk-coördinator Marcel Vreeswijk van Nikhef opgewekt.

Zin in het onbekende

Drie jonge wetenschappers van Nikhef scoorden dit jaar een Veni-subsidie van wetenschapsfinancier NWO. Postdocs Suzanne Klaver, Henrique Zanolli en Hannah Arnold krijgen zo drie jaar de ruimte om hun eigen onderzoeksplan te trekken.

Tekst: Gieljan de Vries

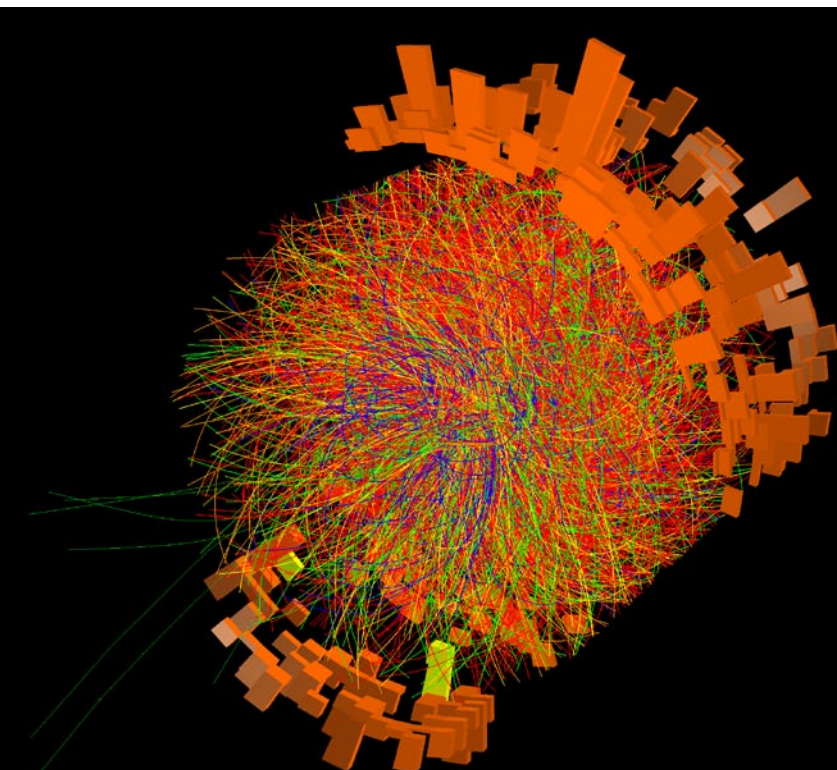
De Veni-beurs past volgens Nikhef-directeur Stan Bentvelsen goed bij het instituut. "Juist in onze grote samenwerkingsverbanden moet je je eigen identiteit en specialisme zien te vinden. Een Veni-beurs daagt jonge wetenschappers uit om hun creativiteit en ambitie te laten zien, en

helpt ze hun weg te vinden als onafhankelijke onderzoeker."

In totaal kregen 161 onderzoekers een van de talentbeurzen toegekend: een slagingspercentage van maar 14 procent. Zo'n Veni binnenhalen is een afmattende wedstrijd van onderzoeksvorstellen

schrijven met baanbrekende ideeën, en een razendsnelle presentatie waar je eruit moet springen als toptalent. Hoe ging de competitie, wat gaan de drie nieuwe Nikheffers onderzoeken en wat vinden ze van hun nieuwe instituut? ►

Illustratie: CERN



“Hier is iets nieuws aan de hand”

Suzanne Klaver (Alkmaar, 1989) onderzoekt in haar Veni-project het verschil tussen de drie verschillende deeltjesfamilies. Ze werkte altijd binnen de LHCb-groep van CERN, telkens aan ander onderzoek in een ander Europees land. Na internationale omzwervingen is ze nu terug bij Nikhef, waar ze als student begon.



Hoe is het om terug te komen bij Nikhef? Ik kende het instituut al van mijn masteronderzoek, voor ik ging promoveren in Manchester. De sfeer is goed, er wordt veel gelachen en veel over toffe natuurkunde gepraat. Ik voelde me hier altijd serieus genomen, ook als jonge student.

Je hebt hier ruimte om je eigen pad te vinden. In de LHCb-groep gebruiken we bijvoorbeeld bottom-quarks om allerlei verschijnselen te onderzoeken, zoals het verschil tussen materie en antimaterie, of tussen verschillende generaties leptonen. Dat vult elkaar prima aan.

Waar gaat je onderzoek over? Ik ben benieuwd naar het verschil tussen het muon en het tau-deeltje, zwaardere versies van het elektron. Bij sommige deeltjesreacties zien we iets meer tau's ontstaan dan de theorie voorspelt: maken drie experimenten in de VS, Japan en Europa allemaal dezelfde meetfout? Of zijn dit sporen van een onbekende natuurkracht? Daar wil ik achter komen.

Lastig is, dat die tau's voor je ze kunt opvangen veranderen in een muon (en neutrino's, die we niet kunnen meten). Een speld in een hooiberg. Daar komen we alleen uit door gedetailleerde voorspellingen te maken, nauwkeurig te meten en veel botsingen op te nemen zodat we goede statistiek kunnen bedrijven.

Ik hoop dat ik na drie jaar onderzoek kan

zeggen: er is écht iets nieuws aan de hand met deze deeltjes. Nieuwe fysica die nog niet in het Standaardmodel zit, dat is de droom.

Heb je advies voor toekomstige Veni-kandidaten? Zo'n beursaanvraag is echt iets anders dan een onderzoekspaper of conferentiepraatje. Begin op tijd en durf advies te vragen. Ik had veel aan de oefenpresentaties op Nikhef. En ik kon hier stoom afblazen bij de zoveelste hobbelt in de procedures.

Wat vond je het lastigste aan je Veni-aanvraag? Als onderzoekers werken we altijd samen in groepen, maar voor een Veni moet je echt jezelf presenteren als de - liefst unieke - persoon die deze klus kan klaren. Ik vond het best pittig om mijn ideeën zo op te schrijven dat ze spannend waren voor zowel internationale vakgenoten als voor een brede Nederlandse commissie met niet-deeltjesfysici. Maar dat is nu achter de rug! Ik kijk er echt naar uit om drie jaar helemaal in het onderzoek te duiken en mensen te begeleiden.

Tenslotte, waar moet het heen met de deeltjesfysica? Ik hoop dat we wereldwijd samen blijven werken vanuit eigen onderzoeksfaciliteiten. We vullen elkaar aan vanuit telkens net andere invalshoeken. Daar worden we allemaal beter van.

“Frisse ideeën binnenhalen”

Henrique Zanoli (Diamante do Norte in Brazilië, 1992) onderzoekt in zijn Veni-project het vroege heelal aan de hand van heftige botsingen in de ALICE-detector van de LHC-versneller. Daar ontstaat dezelfde hete deeltjessoep als een paar microseconden na de oerknal.



Wat voor iemand ben je? Open en sociaal, hoop ik: ik breng graag tijd door met familie en vrienden. Of we nou spelletjes spelen, of discussiëren over politiek of over hoe het gaat op de universiteit. Het is zo belangrijk om jezelf bloot te stellen aan nieuwe ideeën.

Waar gaat je onderzoek over? Ik ben benieuwd naar het quark-gluonplasma, de materietoestand van het allervroegste heelal. Normaal zitten quarks en gluonen muurvast in de protonen in atoomkernen. In de hitte vlak na de oerknal konden ze vrijer rondbewegen: die omstandigheden vind je nu niet meer in de natuur.

In de LHC-versneller kunnen we heel kort zo'n quark-gluonplasma opwekken. Dan is de vraag: wat voor omgeving was dat? Ik wil weten hoe zware charmdeeltjes door dat hete mengsel heen bewegen, maar er is een hoop achtergrondruis. Charmdeeltjes die vroeg in het quark-gluonplasma ontstaan zijn het interessantst. Maar ze kunnen ook later vrijkomen uit andere quarks. Dat moet je goed uit elkaar houden.

Waar lig je wakker van? Dat we er na al ons werk achter komen dat er niets meer te ontdekken is na het Standaardmodel van de deeltjesfysica. En eerlijk gezegd ook van de ratrace voor jonge onderzoekers, van steeds meer baanbrekende *high impact* resultaten scoren. Na mijn bachelor wist ik zelfs niet of de wetenschap wel wat voor mij was, maar ik had

veel aan mijn mentor Jorge Noronha. Hij maakte tijd voor me en liet me zien wat de spannende onderwerpen zijn. Een inspirende verteller; ooit wil ik ook zoveel weten. **Het lastigste aan je Veni-aanvraag?** Je moet de commissie laten zien dat er een stevige basis is voor je onderzoek, zodat ze vertrouwen hebben in je aanpak. En tegelijkertijd moet je ze ervan overtuigen dat jij in dat veld een fantastisch nieuw idee hebt. En dat moet ook nog in een paar woorden tekst en presentatie; echt een oefening in kiezen wat belangrijk is. Toch lijkt Veni me een goed middel om veel jonge, enthousiaste mensen met frisse ideeën binnen te halen.

Hoe is Nikhef voor nieuwkomers? Ik werk groten-deels aan de Universiteit Utrecht, maar ik kom elke maand wel bij Nikhef. Hier valt me altijd de goede sfeer op. Mensen zijn oprecht geïnteresseerd in elkaar, en niet zomaar oppervlakkig: ze vragen door en durven kritisch te zijn.

Waar moet de deeltjesfysica heen? We hebben een goed verhaal nodig over onze toekomst. Willen we een grote nieuwe cirkelvormige versneller in Genève of in China, of een lineaire in Japan? Wat verwachten we daarvan? En hoe relevant zijn wij voor de samenleving? Dat zijn belangrijke vragen.

“Er is meer natuurkunde dan we al kennen”

Het Veni-onderzoek van **Hannah Arnold** (Freiburg in Duitsland, 1985) gaat over de invloed van het higgsdeeltje op zware varianten van de deeltjes in alledaagse materie. Dat werk met de ATLAS-detector van de LHC levert - hopelijk - sporen op van een betere deeltjestheorie.



Je belt in vanuit St. Genis bij Genève. Is CERN je standplaats? Voorlopig wel! Ik ben hier in oktober 2020 begonnen aan een CERN *fellowship*. Die loopt nog een paar maanden door, daarna start mijn Veni bij Nikhef. **Waar gaat je onderzoek over?** Tijdens mijn Veni wil ik meer te weten komen over het higgs-deeltje. We kennen het al bijna tien jaar, maar er is nog veel over te leren. Zoals hoe het higgsdeeltje reageert op de charm- en beauty-quarks, twee zwaardere versies van de deeltjes in alledaagse materie. We willen niet alleen weten hoe de wisselwerking is tussen de deeltjes, maar ook of dat afwijkt van theoretische voorspellingen. Dat zou een teken zijn dat er deeltjes aan de reacties deelnemen die we nog niet kennen. Meer dan in de theorie van het Standaardmodel.

Die bestaande theorie is niet goed genoeg? Nee! Er zijn zo ongelooflijk veel aanwijzingen dat er méér natuurkunde is dan we al kennen. Het Standaardmodel voldoet niet - we moeten iets nieuws vinden. En ik denk dat dat lukt, als we hard en secuur werken.

Hoe werd je gegrepen door de deeltjesfysica? Een zomerstage bij CERN. Als student was ik niet bijzonder weg van de deeltjesfysica, maar toen ik daar rondliep - Ken je het CERN-restaurant? Al die mensen, jong en oud, soms al gepensioneerd, die samenkomen om meer te leren over de natuur. Ik wist meteen: dit is het voor mij. Nooit spijt gehad.

Mijn droom is om onderzoek te blijven doen en steeds meer te begrijpen van de natuur. In de praktijk betekent dat financiering vinden, en hopelijk een permanente positie. Dan kan ik me echt concentreren op de wetenschap en niet op de volgende sollicitatie.

Waar lig je wakker van? Een probleem verkeerd inschatten en daardoor de mensen in mijn groep verkeerd advies geven. Als *convener* (teamleider) van een onderzoeksgroep bij CERN wil ik zorgen dat mijn mensen het beste uit zichzelf kunnen halen.

Toen ik promoveerde zat ik in mijn groep als enige op mijn onderwerp. Mijn mentor uit mijn masteronderzoek gaf me het lef om mezelf te vertrouwen en om een netwerk op te bouwen van mensen die ik om hulp kan vragen als ik vastloop. Tegenwoordig kan ik steeds meer anderen helpen, dat is fantastisch! **Tenslotte, wat valt je op aan Nikhef?** Nikhef is net als CERN een instituut, heel anders dan een universiteit. Op de universiteit praten afdelingen soms helemaal niet met elkaar. Hier komt iedereen, theoret of experimentator of instrumentmaker, samen in de koffiehoek. Enorm handig om daar te horen wat er speelt in andere groepen.

De Boodschapper

Twintig jaar geleden hoorde ze voor het eerst over zwaartekrachtsgolven. Nu is *Samaya Nissanke* een van de gezichten van de revolutie die multimessenger-astronomie heet.

Ze was van jongs af aan gefascineerd door sterren en planeten, schreef op school in Londen liever opstellen over heelal-modellen dan over haar konijn en ging zoals verwacht natuurkunde studeren. Maar toen Samaya Nissanke, kind van een Japanse moeder en een Sri Lankaanse vader, twee jaar Cambridge verder was, begon het te knagen. 'Ik leerde alles over vaste stof en optica. Maar waar was het heelal? Ik mailde willekeurig wat Amerikaanse astronomen, of ik in die zomer misschien wat voor ze kon doen. *Anything*.

'Princeton reageerde, kom maar. Ik stapte op het vliegtuig en de dag erna hoorde ik voor het eerst het woord zwaartekrachtsgolven. Het was *mind blowing*. Het heelal zelf dat golft, ik kon er letterlijk niet van slapen.'

Ruim twintig jaar later is Nissanke vanuit Amsterdam een spin in het web van het wereldwijd exploderende onderzoek naar en met zwaartekrachtsgolven. Ze leidt een groep aan de Universiteit van Amsterdam, is woordvoerder van onderzoeksinstituut GRAPPA daar, is betrokken bij diverse grote internationale telescoopprojecten, bij de zwaartekrachtsgolfdetector Virgo in Pisa, en bij plannen van onder meer Nikhef voor de nog grotere Einstein Telescope, misschien wel in Zuid-Limburg.

En daarbij is ze ook een nadrukkelijk pleitbezorger voor meer diversiteit in de wetenschap. Meer vrouwen. Meer niet-westerse culturen. 'We zijn een nieuwe *community* aan het bouwen. Er komen wereldwijd duizenden jonge en nieuwsgierige mensen binnen. Dit is de kans om het

een keer goed te doen', zegt ze, opgewekt als altijd. Voor haar inzet in wetenschap, wetenschapscommunicatie en support aan vrouwelijke wetenschappers kreeg ze dit jaar de Suffrage-prijs.

Jonge mensen in een nieuw veld is hoe dan ook goed voor de wetenschap, benadrukt ze. 'Die durven nog basisvragen te stellen. Ook als het om ideeën gaat die Einstein een eeuw eerder formuleerde.'

Haar eigen moment is 17 augustus 2017. Op die dag registreren de zwaartekrachtsgolfdetectoren Virgo in Italië en LIGO in Washington en Louisiana een ruimtetrilling met speciale kenmerken. Alarmen gaan af, telefoons van betrokken wetenschappers lichten op. Eerste berekeningen wijzen een gebied aan de hemel aan, waar het signaal vandaan moet zijn gekomen. Wereldwijd

Foto: Bas Uterwijk

mobieltjes. De partners, wetenschappers in een ander veld, wisten van niks. 'Alles was nog strikt geheim, dus maakten we met een enorme grijs op ons gezicht *small talk* over de kinderen.'

Gebeurtenis GW170817 was haast te mooi om waar te zijn. Nissanke en collega's hadden het decennium ervoor eindeloos gerekend aan de ruimtegolven en andere signalen die zouden ontstaan als neutronensterren op elkaar botsen. Anders dan bij botsende zwarte gaten zou daarbij eventueel ook licht of andere straling vrij kunnen komen. Nissanke: 'De centrale vraag was eigenlijk steeds: zouden we op aarde zoiets echt kunnen waarnemen? Onze conclusie was: ja, mits niet te ver weg en bij heel specifieke massa's. Het *Golden Event* noemden we dat geval. Ik weet nog dat ik dacht: eigenlijk is dit pure *science fiction*. En niettemin was het eerste wat we zagen precies dat gouden *event*.'

Ruim een week later pikte röntgensatelliet Chandra een signaal op, en ook telescopen zagen op de aangewezen plek een miniem sterretje opglowen. Dat was de geboorte van een nieuw vakgebied op de grens van astronomie en natuurkunde: de multimessenger-astronomie. Hierin bieden allerlei signalen van kosmische gebeurtenissen samen een heel nieuw beeld van het universum.

Haar interesse in neutronensterren is in feite nogal toevallig, zegt Nissanke lachend. 'Ik had in Amerika kennismemaakt met zwaartekrachtsgolven, maar dat was in Cambridge toen nog lang geen gangbaar onderwerp. Parijs was wel een optie. Daar deed ik mijn promotiewerk, in het Frans en met een typisch Franse nadruk op de wetenschappelijke kant. Maar het knaagde wel. Ik rekende aan deltafuncties terwijl ik wist: dit zijn eigenlijk astronomische beesten. Ik wilde de beesten zien.'

Via Canada belandt ze als postdoc op JPL/Caltech om rekenmethodes te maken waarmee eigenschappen van botsende zwarte gaten en neutronensterren zijn af te leiden uit waargenomen zwaartekrachtsgolven. Maar tegelijk raakt ze betrokken bij onderzoek met nieuwe *wide-field* telescopen op Mount Palomar, een van de beroemdste sterrenwachten van de wereld. 'Helemaal zoals je een observatorium voorstelt, inclusief een fantastische keuken. Daar omhoogkijken naar de

sterrenhemel was echt *mind blowing*, en de gesprekken met de astronomen waren fascinerend.'

Nissanke: 'Eigenlijk ben ik daar in de wandelgangen en bij de koffiemachines gaan beseffen hoe belangrijk de beste instrumenten voor de wetenschap zijn. Wat je wilt is nieuwe vensters openzetten, ook al weet je niet precies wat je dan zult gaan zien. Dat is het mooie van de opkomst van de zwaartekrachtsgolfrevolutie. Opeens is een vakgebied dat rustte op een eeuw oude theoretische natuurkunde, de algemene relativiteitstheorie van Einstein en andere witte mannen, een datagedreven vak geworden. Je kunt denken: de twintigste zwarte-gatenbotsing, *what else is new?* Maar eigenlijk zijn we nog maar net begonnen. De echte wetenschap begint als je populaties begint te zien, als je statistieken hebt.'

'Dan beginnen de raadsels steeds meer op te vallen. Zo is echt een grote vraag in de astrofysica hoe licht een zwart gat minimaal kan zijn, en hoe zwaar een neutronenster kan worden. Volgens de meeste modellen is 2 tot 3 zonsmassa's een tussengebied waar je niet veel verwacht. En toch lijken we die nu wel te zien. We barsten van de vragen.'

In 2017 komen Nissanke en haar man, een specialist in exoplaneten, terug naar Europa en vestigen zich in Nederland, zij in Nijmegen, hij in Amsterdam. 'Een tweelichamenprobleem dat we gelukkig hebben kunnen oplossen', zegt ze. Daarbij had ze een nadrukkelijke voorkeur voor Nederland. 'Nederland is een klein en flexibel land, dingen kunnen hier veel sneller dan in Duitsland of Frankrijk. Dat is ideaal als je in een veld zit dat zich explosief ontwikkelt.'

En Nikhef? Nikhef, zegt Nissanke, is juist een enorm belangrijke omgeving voor onderzoek naar zwaartekrachtsgolven. Het instituut is van oudsher het meest thuis in de deeltjesfysica. Maar het bouwt daarvoor de gevoeligste instrumenten denkbaar. 'Nikhef weet als geen ander hoe je enorme apparaten met ongelooflijke precisie kunt bouwen. Niet alleen technisch, maar ook hoe je het organiseert. Je ziet hoe heel goede wetenschappers en technici de nieuwe uitdagingen omarmen. Dat lijkt allemaal vanzelfsprekend, maar het is goed om vast te stellen hoe bijzonder het eigenlijk is.'

Met maanpakken en rubberen handschoenen aan sleutelen twee fysici in een cleanroom van de Virgo-detector in Italië aan een nieuw en cruciaal onderdeel van het observatorium voor zwaartekrachtsgolven. In het frame rechts hangt aan ragfijne metaaldraden een van de spiegels die een hoofdrol zullen gaan spelen in deze zogeheten *filter cavity*. Dat is een apparaat dat Virgo nog veel gevoeliger moet maken voor de subtiele rimpelingen van de ruimte, veroorzaakt door verre botsende zwarte gaten of neutronensterren.

De stalen frames vol veren, sensoren en actuatoren dempen eventuele verstoringen van de spiegel uit de rest van de installaties. De frames zijn de afgelopen jaren ontworpen en gebouwd in de werkplaats van Nikhef in Amsterdam en ondanks coronabeperkingen afgelopen winter naar Virgo vervoerd en inmiddels ook geplaatst. Vanuit Amsterdam helpt constructeur Alessandro Bertolini sindsdien online mee bij het inregelen van de installatie. Naar Pisa afreizen is er voor hem voorlopig nog niet bij.

De *filter cavity* bij Virgo is een cruciaal nieuw onderdeel van de detector, zegt vanuit Pisa optisch specialist Matteo Tacca van Nikhef. Met twee studenten en een postdoc bouwt hij gestaag aan het nieuwe, vooral door Nederland gefinancierde filter-onderdeel van de detector. Tot zijn eigen verbazing ligt de klus eigenlijk redelijk op schema.

Tacca: 'Het idee is dat we hiermee in het systeem in de toekomst nog minder ruis overhouden dan de hoeveelheid die nu de metingen beperkt. Virgo kan nu ongeveer 20 miljoen lichtjaar ver het heelal in kijken. Dat kan zeker anderhalf keer zo ver worden.'

Virgo is de Europese detector voor zwaartekrachtsgolven, in een lab bij Pisa. Als een enorme winkelhaak ligt het observatorium met zijn twee kilometerslange armen in het Toscaanse landschap. In de tunnels bevinden zich extreem gevoelige laserinstallaties die de minste rimpelingen in de ruimte verraden als daardoor spie-

gels iets ten opzichte van elkaar bewegen.

Samen met de twee LIGO-detectoren in de VS biedt het observatorium sinds enkele jaren een heel nieuw venster op het universum. Hier worden de minieme trillingen opgevangen die volgens Einsteins relativiteitstheorie ontstaan als in het heelal extreme botsingen plaatsvinden.

In 2015 lukte zo'n waarneming voor het eerst, inmiddels zijn er sinds die wereldprimeur meer dan vijftig botsingen gemeten. In een paar gevallen konden telescopen en radiotelescopie zelfs de bron van de ruimterimpelingen zien. Multimessengerastronomie heet het nieuwe vakgebied waar natuurkunde en sterrenkunde elkaar nu innig omhelzen.

De nieuwe *filter cavity* is een 285 meter lange optische installatie, in een nieuwe vacuümbuis die parallel aan de drie kilometer lange noordzuid-arm van Virgo in de tunnel is gelegd. Aan de uiteinden zijn in de tunnel kleine cleanrooms gebouwd om stof en hitte buiten te houden. Binnen hangen in de frames de roerloze spiegels waartussen laserlicht met ingenieuze optische trucs heen en weer kaatsend wordt schoongefilterd voordat het de grote detector in gaat. Daardoor is er nog minder ruis, en kunnen nog zwakkere signalen uit de sterrenhemel worden opgepikt.

Nieuw, zegt Tacca, is dat dit systeem de laserbundels zowel voor heel lage als heel hoge trillingsfrequenties kan schoonmaken. 'Tot nog toe moest je kiezen waar je naar wilde kijken en miste je automatisch een ander deel van de gebeurtenissen. Met de *cavity* houd je beide vensters tegelijk open. In experimenten in Japan hebben we al laten zien dat het moet werken.'

De *filter cavity* is bij uitstek een internationale inspanning, zegt de Nikhef-onderzoeker. De Nederlanders bouwden de trillingsvrije mechanische ophangingen voor de spiegels en andere optische installaties. Maar het idee van het filteren is door Nederlandse en Franse wetenschappers uitgewerkt, het vacuümsysteem is door Italianen ontwikkeld,

terwijl de spiegels dan weer uit een speciaal Frans lab in Lyon komen.

Vorig jaar zomer al werd de beschermende blauwe tunnelbuis op twee plaatsen verhoogd om ruimte te maken voor de nieuwe installatie. Daaronder bevinden zich nu de kleine cleanrooms in de tunnel waarin de optica wordt opgebouwd. In het najaar werd de 285 meter lange vacuümbuis al in de tunnel geplaatst, parallel aan de eigenlijke interferometerarm.

Zwevende spiegels in Pisa



Tacca is bij Virgo namens Nikhef momenteel de coördinator voor de verbeteringen aan de detector. In de praktijk bouwde hij met twee studenten en een postdoc ook grote delen van de optische installatie eigenhandig op. De belangrijkste componenten, zegt hij tevreden, staan nu op hun plaats. In februari werden de dikke glazen spiegels, elk 3,5 kilo zwaar, in de frames gehangen.

Wat volgt is een uitgebreid programma

om het systeem ook echt aan de praat te krijgen en te optimaliseren. Deels kan dat vanuit Amsterdam, waarvandaan de bediening online net zo goed kan als vanuit de controlekamer op het Virgo-lab in Italië. Eerste doel is de resultaten van de tests in Japan te herhalen. Later in de zomer zou de schoongemaakte laserbundel dan voor het eerst de echte detector in mogen. Virgo staat, net als LIGO, sinds vorig jaar uit voor onderhoud en verbeteringen.

Een herstart van de metingen met Virgo staat voor ergens in 2022 in de boeken. Samen met de LIGO-detectoren in Amerika, waar aan eenzelfde *light squeezer* wordt gewerkt. Zij het dat die in een aparte nieuwe tunnel zal komen omdat de huidige gangen te krap zijn voor de uitbreiding. En bouwen tijdens een meetperiode is absoluut uit den boze. De aarde dendert en ruist al genoeg van zichzelf.

Rekeningrootmacht

Geen wetenschap zonder rekenen, zeker niet in de deeltjesfysica. Bij Nikhef in Amsterdam staat daarom een van de grootste computercentra van Nederland.

Foto's: Ronald Blinderman, Marco Kraan, Tristan Suerink

Ogenscheinlijk is het een oase van rust, het rekencentrum op de tweede verdieping van het Nikhef-atrrium in Amsterdam. Achter glazen wanden knipperen in het halfduister her en der honderden gele en rode leds en gloeit tegen het plafond een zacht paars licht. We zien als we naar binnen turen lange rijen grijsmetalen kasten met gaasdeuren en door de ruiten heen klinkt zacht een gestaag gebrom. Eigenlijk niets wijst erop dat dit letterlijk

een van de drukste punten van de Nederlandse wetenschap is.

Maar schijn bedriegt. Op de grote display naast de ingang is te zien wat er binnen werkelijk gaande is. Een felgekleurde stapelgrafiek telt dag in dag uit tussen de 6 en 7000 gelijktijdige rekenopdrachten. Eronder is te zien dat er gemiddeld 30 gigabyte per seconde aan data heen en weer gepompt wordt, met uitschieters naar ongeveer het dubbele. Hier wordt keihard gerekend, is de boodschap. En daaronder zien we op een kaartje van Europa ook nog welke data-lijnen actief zijn. Een spinnenweb met een extra dikke lijn naar CERN, Genève. De landkaart van een rekeningrootmacht. ►

‘Het ergste wat je tegen ons kunt zeggen is dat er te weinig rekencapaciteit is.’

En toch, zegt Tristan Suerink, ICT-architect bij Nikhef, zijn het in feite allemaal ook maar gewoon computers, daar achter de ramen. Digitale rekenmachines, met processoren, een geheugen, aansluitingen naar de buitenwereld. ‘Stevige maar tamelijk gewone computers, maar dan wel zo’n dertienduizend rekenkernen, die we zo effectief mogelijk moeten laten samenwerken. Ons werk is om zoveel mogelijk rekencapaciteit te regelen voor iedere euro die we uitgeven.’ Het geheel is vergelijkbaar met zo’n 25000 nauw samenwerkende laptops.

Voor de duidelijkheid heeft hij op zijn kantoor een van de servers opengeschoefd liggen. Niet heel veel anders dan de binnenkant van een klassieke desktop-computer, lijkt het. Chips, printplaten, een voeding, ventilator, kabels. In wat de beheerders van het datacenter liefkozend een pizzadoos noemen, een platte behuizing die zo in een serverrack kan worden geschoven.

Suerink kent elk onderdeel, en iedere leverancier ervan. Netwerken in de sociale zin van het woord is een cruciaal onderdeel van zijn werk, waar het immers steeds om de beste deals gaat.

Het aardige, zegt hij, is dat de industrie daar ook echt wel oren naar heeft. ‘Nikhef en de deeltjesfysica zijn een geliefd testdomein voor veel leveranciers, juist omdat we zulke extreme eisen stellen.

Processoren, versnellerkaarten, datalinks. Hier kun je dingen testen die voor anderen nog verre toekomstmuziek zijn. Een win-winsituatie.’

Wereldomspannend

Het rekencentrum bij Nikhef is onderdeel van een wereldomspannende ICT-infrastructuur voor onderzoek. Het netwerk, opgezet rond de eeuwwisseling, is het antwoord op de overvloed aan data en rekenwerk die samenhangt met de grote Large Hadron Collider op CERN, Genève. De botsende protonen in die machine leveren via de detectoren een stortvloed aan meetgegevens op, die niet alleen opgeslagen moet worden, maar ook beschikbaar moet zijn voor onderzoekers. Nikhef zit in drie experimenten: ATLAS, LHCb en ALICE.

Zulke detectoren werken als een soort digitale camera’s, die patronen van wegvliegende deeltjes vastleggen. Dat levert tientallen miljoenen opnames per seconde op, per jaar vele duizenden terabytes aan informatie. Om ze op te slaan zou een stapel cd’s nodig zijn van meer dan 150 kilometer hoog, zo is wel eens uitgerekend.

In plaats daarvan verbindt het netwerk zo’n 170 rekencentra in 40 landen. De krachtenbundeling levert meer dan een miljoen terabyte aan diskopslag op, en zeker een miljoen beschikbare rekeneen-

heden, ‘cores’ in het ICT-jargon. Daarop kunnen – de duizelingwekkende getallen houden niet op – zeker twee miljoen rekenklussen per dag worden behandeld.

Stopcontact

Het idee is dat rekenkracht zo iets is geworden als elektriciteit: een gebruiker plukt in met een rekenklus en hoeft zich helemaal niet af te vragen wat er achter het stopcontact eigenlijk gebeurt. Nikhef is met zijn datacenter een zogeheten Tier-1 knooppunt in het rekennetwerk rond CERN, wat betekent dat een groot deel van de detectordata er in kopie opgeslagen zijn en benaderbaar zijn door wetenschappers van instellingen met minder eigen faciliteiten.

Deeltjesfysica is zeker tegenwoordig een zaak van rekenkracht. Ooit bekeken fysici op het oog foto’s van wegsputtende deeltjes uit botsingen. Maar met de intensiteit en kracht van de LHC-versneller op CERN is dat onmogelijk. Wat fysici vooral doen is computerprogramma’s schrijven die kunnen zoeken naar specifieke patronen in de meetgegevens, bijvoorbeeld de typische vervalproducten van het higgsdeeltje.

Dat programma haalt vervolgens de stofkam door enorme hoeveelheden detectorgegevens in het netwerk, in de verwachting dat er genoeg gebeurtenissen opduiken om zinvolle conclusies te trekken. Veel ander rekenwerk draait om



het voorspellen van verschijnselen en achtergronden in detectoren. En dan zijn er nog de theoretici, die uit hun abstracties meetbare grootheden proberen te destilleren.

Wedloop

Een paar kamers verder op de gang zit Jeff Templon, de leider van de Physics Data Processing group. Dat PDP is een klein gezelschap van rekenspecialisten bij Nikhef, die alles weten van efficiënt omgaan met computers en datanetwerken. De belangrijkste opdracht, zegt de van origine Amerikaanse kernfysicus Templon, is in principe zorgen dat deeltjesfysici als van Nikhef niks te klagen hebben. ‘Het ergste wat je als onderzoeker tegen ons kunt zeggen, is dat je niet verder kunt omdat er te weinig rekencapaciteit is. Dat moment moeten we steeds zien voor te blijven. Bijvoorbeeld ook door tijdig heel nieuwe technieken te verkennen.’

Hij herinnert zich nog goed hoe in zijn beginjaren als postdoc een paar desktop-computers met een netwerk al volstond voor serieus wetenschappelijk onderzoek van een heel instituut. Dat is natuurlijk allang niet meer zo, zegt Templon. ‘Veel meer dan destijds zijn computernet-

werken een vakgebied op zich geworden. Vroeger kon je wat computers kopen en die aan elkaar knopen, dat was genoeg. Het systeem bouwen is een specialisme geworden. Elke keer als je opschaalt, ontstaan er nieuwe problemen en uitdagingen.’

Protocollen

Ook het hoofd van de ICT-afdeling, fysicus en computerdeskundige Ronald Starink, herinnert zich de tijd nog van een paar workstations voor het hele experiment waaraan hij ooit werkte, met de eigen versneller aan de Ringdijk. ‘Wat dat betreft leven we in een totaal andere tijd. Nu heeft iedereen een laptop op zijn bureau, die meer kan dan het hele netwerk van het instituut in die tijd. Dat maakt van alles mogelijk, maar is ook enorm veel gecompliceerder.’

Een van die uitdagingen is het werkterrein van computerwetenschapper David Groep van Nikhef: protocollen. Voor samenwerking. En voor beveiliging. Met de komst van grote internationale netwerken die rekencentra verbinden, is ook de vraag ontstaan wie ergens bij mag en hoe je dat garandeert. Groep ontwikkelde onder meer internationale OGF-standaards, die ►

DATASNELWEG

Eind 2020 realiseerden Nikhef en rekennetwerk SURF de allersnelste grensoverschrijdende data-link ter wereld, van Amsterdam Science Park naar deeltjeslab CERN in Genève, Zwitserland. De optische glasvezelverbinding haalt een snelheid van 400 Gigabit per seconde, wat viermaal zo snel is als de bestaande snelle datanetwerken. Dat



komt overeen met het versturen van ongeveer twaalf volle DVD’s aan informatie per seconde. De supersnelle verbinding is het sluitstuk van een experiment van Nikhef in de Randstad (Amsterdam, Utrecht, Delft, Leiden) met zo’n snel netwerk gedurende 2020. Op Nikhef zelf werd daartoe nieuwe en veel snellere optische apparatuur geplaatst. ICT-specialist Tristan Suerink bouwde voor de tests een speciaal datakanon dat een miljard pakketjes van 64 bytes per seconde kan leveren. Goed voor het Guinness Book of Records, denken de experts.

SPELCOMPUTERS

Een van de nieuwe ontwikkelingen in het wetenschappelijke rekenen is de inzet van zogeheten grafische processoren. Roel Aaij van Nikhef, ooit begonnen als fysicus bij LHCb maar nu PDP-dataspecialist, werkt aan toepassingen van wat in essentie de rekenmachines zijn die ook in videogames worden gebruikt. Aaij:

‘Anders dan gewone digitale processoren, delen de grafische processoren de gegevens waaraan ze rekenen op in heel kleine deelproblemen die parallel aan elkaar worden afgehandeld. Dat maakt games razendsnel en zou ook fysisch rekenwerk veel efficiënter kunnen maken. En misschien zelfs wat minder energieintensief, wat natuurlijk

ook wat waard is.’ LHCb nam afgelopen jaar het besluit om een deel van de trigger, de eerste laag computers die alleen interessante metingen doorlaten, met grafische kaarten te gaan doen. Op die manier, zo is de verwachting, kan het experiment een veel groter deel van de botsingsmetingen opslaan voor latere analyses.



Roel Aaij

De warmte van het datacenter verwarmt in de winter 1300 studentenwoningen



Rabah
Abdul Khalek



Joran
Angevaere



Rahul
Balasubramanian

authenticatie voor toegang en data-verkeer helder regelen zonder dat het vertragingen oplevert voor de onderzoekers. Ook voor Nikhef zelf is hij bij de beveiliging van de netwerken en servers betrokken.

Internetpijplijnen

De prominente rol van Nikhef op dit onderwerp is ook niet onlogisch. Nederlandse natuurkundigen waren van meet af aan betrokken bij de oprichting en bloei van CERN, en hadden letterlijk de eerste website van Nederland, nikhef.nl. CERN-datafysici hadden het *world wide web* in 1989 ontwikkeld om snel wereldwijd gegevens en rekenklussen te kunnen uitwisselen. De rest, zegt men dan, is geschiedenis.

Het is ook verre van toevallig dat Nikhef ongeveer op het belangrijkste knooppunt van internetpijplijnen van Europa staat. Intussen staat op het Amsterdam Science Park een aantal commerciële datacenters vol servers die daar ook gretig gebruik van maken. Nikhef zelf herbergt en beheert ook nog een eigen centrum, Nikhef Housing, dat al van oudsher serverruimte aan derden verhuurt. Monteurs van allerlei aanbieders en bedrijven zijn daar kind aan huis. Een Nikhef-ploeg van specialisten staat ze daarin bij.

Dampende ventilatoren

Technici uit de ICT-afdeling dragen niet alleen bij aan het werk van de PDP-groep, de afdeling beheert eigenlijk alle ICT bij Nikhef, van de servers in het datacenter tot de computerlogistiek van de Nikhef-gemeenschap, de laptops, de telefoons, de helpdesk, alles.

Maar het is baas boven baas. Staande in het rekencentrum waar razende koelventilatoren en loeiende luchtverversing het praten haast onmogelijk maken, heeft Tristan Suerink gewezen waar het volledige emailverkeer en dataverkeer van heel Nikhef samenkomt: één rustig zoemende kast in een middengang. Al het andere staat er voor de rekenbeluste natuurkun-

digen. Op de deuren van de kasten staan voor buitenstaanders mysterieuze namen. Chocola. Kip-Sate. Marsepein. Taai-Taai. Stoomboot. Het zijn de namen van clusters van machines, uitbreidingen van het rekencentrum. De namen verwijzen naar het jaargetijde dat de hardware binnenkomt. Dat is vaak rond Sinterklaas. Kip-Sate was een zomerse aanschaf.

Al met al heeft Nikhef op het Science Park zoveel computerpower in huis dat het zelfs voor de energiehuishouding een factor van belang is. De warmte van de zwoegende processoren is in het datacenter haast beklemmend, maar die wordt voortdurend afgevoerd door een omvangrijk systeem van luchtbehandeling. De opgezogen warmte wordt via pijpleidingen naar een diepe ondergrondse opslag op het Science Park geleid en 's winters gebruikt door 1300 gasloze studentenwoningen en ook door Nikhef zelf. Het hergebruik maakt Nikhef als instituut redelijk klimaatvriendelijk.

Datavloed

Op CERN staat de versneller momenteel stil voor aanpassingen die over een paar jaar tot nog veel intensievere datastromen vanuit CERN zullen leiden. Dat project is de High Luminosity LHC die tienmaal zoveel botsingen per seconde gaat leveren als nu haalbaar is. Daarmee kunnen nog veel meer details van deeltjesbotsingen worden gevonden dan met de huidige LHC. Mits alle extra meetgegevens ook opgevangen en verwerkt kunnen worden.

Het is een van de redenen dat Tristan Suerink nu al werkt aan uitbreidingen van het rekencentrum op Nikhef en waarom hij samen met hardwareleveranciers proeven doet met nieuwe computer- en netwerktechnieken. Soms letterlijk met de schroevendraaier en soldeerbout. 'Het eerste wat hier gebeurt als er iets binnenkomt is dat ik het open schroef. Ik wil met mijn eigen ogen zien wat we aan rekenkracht in huis halen. Wat gebruiken ze? Zit het netjes in elkaar? En geloof me, echt: uiteindelijk zijn het gewoon maar computers.' ◀

RECORDHOUDERS

Nikhef maakt elk jaar op de jaarvergadering de top drie bekend van meest intensieve rekenaars van het afgelopen jaar. Promovendus **Rabah Abdul Khalek** van de Theoriegroep was vorig jaar recordhouder. Zijn rekenwerk aan de quarks en gluonen in een botsend proton hield in 2020 ruim 67 CPU's (Central Processing Units) een jaar lang volledig in beslag. Khalek werkt sinds 2017 aan de sterke kernkracht (Quantum chromodynamics of QCD) van een botsend proton. Het krachtenspel is moeizaam te berekenen omdat het sterker wordt op grotere afstand, waardoor kleinere details steeds belangrijker worden. In veel rekenwerk worden details vanzelf minder relevant. Runner-up voor de titel (er is geen bokaal, alleen de eer) was promovendus **Joran Angevaere** van de XENON-groep, die met een enorme ondergrondse detector in Gran Sasso, Italië, speurt naar signalen van donkere materie in zeeën van achtergrondgebeurtenissen. Hij verstoekte in 2020 ruim 65 CPU-jaar. Het rekenwerk is intensief door de talloze dimensies van zijn modellen. Derde grootgebruiker is promovendus bij de ATLAS-groep **Rahul Balasubramanian**, die in een jaar tijd maar liefst 31 CPU-jaar rekende aan eventuele kleine verstoringen van het higgsdeeltje die een aanwijzing kunnen zijn voor nog onbekende deeltjes.

Krasje op het Standaardmodel

Foto: CERN

'Hints van iets dat ons begrip van de werkelijkheid op zijn kop kan zetten.' Op 23 maart stonden CERN en het LHCb-experiment even wereldwijd in de schijnwerpers van de media. En hoewel de betrokken onderzoekers liever nog spraken van 'voorzichtige opwindig', was die opwindig toch aanzienlijk. 'Dit is de reden dat ik al 25 jaar onderzoek doe', zei ook LHCb-programmaleider Marcel Merk van Nikhef tegen de kranten en op televisie.

Aanleiding voor de nieuwsgolf was een nieuw resultaat van de LHCb-detector op CERN, dat werd gepresenteerd op de jaarlijkse Moriond-voorjaarsconferentie. Tegelijk was er ook een seminar op CERN zelf, om te benadrukken dat er iets bijzonders aan de hand lijkt.

Bij het verval van B-mesonen kunnen zowel elektronen ontstaan als muonen. Volgens de gangbare deeltjestheorie hebben elektronen en muonen maar één verschil: hun massa. Muonen zijn ongeveer 200 maal zwaarder dan elektronen, maar ze zouden verder identiek zijn.

Waarom de natuur zo'n tweede generatie bouwstenen omvat is overigens een van de

grote fundamentele vragen in de natuurkunde. En het wordt nog erger: er is zelfs een derde generatie, die van het tau-lepton. Net een elektron, alleen veel zwaarder, is het uitgangspunt van de theorie.

Maar LHCb denkt na jaren meten toch iets anders te zien. Elektronen gedragen zich bij het verval van B-mesonen op een subtiele manier anders dan muonen. Een verschil betekent dat de deeltjestheorie te simpel is. Mogelijk omdat er een onbekende kracht in het spel is, of een nog onontdekt deeltje. Aanwijzingen voor het zoeken naar een betere deeltjestheorie.

Maar de leerboeken kunnen nog niet helemaal in de prullenbak. LHCb stopte jaren metingen in de nieuwe analyse, waaraan onder meer door de Nikhef-groep hard was gewerkt. Maar absolute zekerheid is er nog niet. De gevonden afwijking zou nog steeds een toevallige uitschieter kunnen zijn, met een kans van ongeveer een op de duizend of 3.1 sigma zoals fysici het zeggen. Vandaar de 'voorzichtige opwindig': het is een hint, maar het kan ook zomaar weer verdwijnen.

Het huidige krasje op het Standaard-

model is voor natuurkundigen pas een echte scheur als de kans op een toevalligheid kleiner is dan een op de miljoen. Daarvoor zijn nog meer gegevens over het B-verval nodig. De LHCb-detector, die momenteel een zware revisie ondergaat, gaat de komende jaren nog intensiever meten aan vervallende B-mesonen. 'Het is alsof je een steeds scherpere foto neemt', beschreef Nikhef-directeur Stan Bentvelsen de lopende speurtocht in het NPO1-radioprogramma Nieuws&Co.

In Genève op CERN hield LHCb-onderzoeker Patrick Koppenburg van Nikhef op Twitter een oude fles wijn voor de camera met de vraag of hij hem gezien het nieuws al moest openen. De fles was onderwerp van een weddenschap van jaren geleden over het mogelijke verschil tussen elektronen en muonen. Openen als dat verschil er is, stond op het etiket. 'Of bij grote dorst.'

Koppenburg laat de fles toch nog maar even dicht, besloot hij. Bij absolute zekerheid over een defect in het Standaardmodel smaakt hij vermoedelijk nog stukken beter. ▶

Muurformules WINNEN PRIJS

Nikhef-onderzoeker Ivo van Vulpen en zijn Leidse collega Sense Jan van der Molen hebben voor hun muurformuleproject een



NWO-communicatieprijs gewonnen. In samenwerking met kunstenaarscollectief TEGEN-BEELD plaatsen zij enorme muurschilderingen met natuurkundige formules op Leidse gebouwen. Voor deze unieke manier van wetenschap uitdragen richting het brede publiek, ontvangen de winnaars een bedrag van 10.000 euro. De eerste formule verscheen in 2015 op de buitenmuur van het Museum Boerhaave: Einsteins veldvergelijking, de formule voor ruimtetijdromping uit de algemene relativiteitstheorie. Inmiddels sieren acht formules Leidse muren. Het voornemen is dat dit er tien worden. www.muurformules.nl

Pamela Ferrari verkozen tot ATLAS PHYSICS COORDINATOR

Nikhef-onderzoeker Pamela Ferrari gaat het fysicaprogramma van het ATLAS-experiment op CERN coördineren. Eerst twee jaar als adjunct fysica-coördinator en daarna twee jaar als eerste coördinator. In deze functie overziet en organiseert zij vooral de analyses van de metingen die met de detector worden gedaan, en speelt ze daarnaast een belangrijke rol bij de voorbereiding van wetenschappelijke publicaties. Ferrari is al geruime tijd verbonden aan ATLAS. In 2012 was zij intensief betrokken bij de ontdekking van het higgs-deeltje. Ook haar huidige onderzoek concentreert zich op het higgsdeeltje. De laatste jaren leidde Ferrari al de publicatiecommissie van het ATLAS-experiment.



Martinus Veltman (1931 – 2021)

In januari overleed de Nederlandse natuurkundige en Nobelprijswinnaar Martinus Veltman. Veltman legde in de jaren '60 de basis voor het Standaardmodel van de deeltjesfysica, een theorie waarin elementaire krachten in hun samenhang worden beschreven. Zijn werk om de zwakke en de elektromagnetische wisselwerking samen te voegen werd in 1999 met een Nobelprijs voor natuurkunde bekroond, die Veltman samen met Gerard 't Hooft ontving. Veltman werkte sinds 1966 als hoogleraar theoretische natuurkunde in Utrecht, met belangstelling voor zowel theorie als experiment. In die tijd stond



hij ook aan de wieg van Nikhef. In 1981 vertrok hij naar de VS waar hij tot zijn emeritaat in 1996 werkte.



Nikhef derde lid van EUROPEES OBSERVATORIUM EGO

Nikhef is vanaf 2021 officieel lid van EGO, het Europese observatorium voor zwaartekrachtsgolven. Tot nog toe waren het Italiaanse INFN en het Franse CNRS de leden, en Nederland was waarnemer. De toetreding als volwaardig lid is een nieuwe mijlpaal in het bouwen aan een Europees netwerk voor zwaartekrachtsgolfonderzoek. De op EGO gevestigde Virgo-detector heeft samen met de LIGO-detectoren in de VS sinds de eerste waarneming van zwaartekrachtsgolven in 2015 al tientallen signalen gemeten, vooral van botsende zwarte gaten en soms neutronensterren. Binnen Europa wordt ook al de bouw van een toekomstige ondergrondse detector voorbereid.



Publiek zelf aan de slag MET KOSMISCHE DEELTJES

Het Pierre Auger observatorium voor kosmische straling in Argentinië maakt een deel van zijn metingen en eerste analyses toegankelijk voor het grote publiek. Nikhef is van begin af aan betrokken bij het Auger-onderzoek. De open data zijn onder meer bedoeld voor onderwijsdoeleinden en amateurwetenschappers, maar ook voor andere onderzoeksgroepen. De openheid is volgens Auger een manier om een meer diverse groep gebruikers te bereiken en het wetenschappelijke potentieel voor de toekomst te vergroten. Open-databeleid speelt de laatste jaren een steeds grotere rol in de wetenschap. Ook CERN maakt sinds vorig jaar een deel van de metingen van de LHC-versneller openbaar.

Arjen van Rijn droomt van een duurzaam Nikhef

‘Een duurzaam Nikhef is een droom, maar ik lig er eerlijk gezegd wel eens wakker van.

Want wat moet je ermee als wetenschappelijk instituut? Ons onderzoek is niet gericht op het oplossen van klimaatproblemen of het verzinnen van duurzame vormen van energievoorziening. Over wat we wel kunnen doen gaat de werkgroep duurzaamheid. Het doel is ambitieus: Nikhef is klimaatneutraal in 2030. Over minder dan tien jaar hebben we ons energie- en grondstofgebruik teruggebracht en waar dat niet meer verder kan, hebben we de CO₂-uitstoot op een verantwoorde wijze gecompenseerd.

De werkgroep is enthousiast bezig: over energiegebruik, afval, inkoop, mobiliteit en nog meer. Ik heb zelf het ‘makkelijkste’ thema: gebouwgebonden energiegebruik. De meeste doelen daarvan gaan we namelijk in onze renovatie halen: een beter geïsoleerd gebouw, van het gas af, verwarmd door het datacenter en met koudelevering vanuit een duurzame bron in de grond. Alleen zonnepanelen zijn budgettair gesneuveld, maar die moeten we nog even terug zien te budgetteren. Onze elektra kopen we al jaren duur-

zaam in: nu nog opgewekt door Europese wind, vanaf 2022 met in Nederland opgewekte duurzame bronnen.

De CO₂-footprint van Nikhef wordt op dit moment voornamelijk bepaald door onze mobiliteit. In 2019 bepaalden vlieguren tweederde van onze footprint. Deeltjesfysici zijn nu eenmaal een reizend volk, heel sterk gericht op samenwerking in internationale experimenten. En terecht. Maar toch moet al dat verplaatsen minder. En

wrang genoeg laat het coronajaar zien dat het best wel minder kan.

Maar hoeveel minder? En vallen we niet meteen terug in onze oude patronen, als reizen weer mag? Het zou deze agenda trouwens erg helpen, als vliegen niet zo pervers goedkoop was; in de ticketprijs zitten de milieulasten niet verwerkt.’

Foto: Bas Uterwijk

Arjen van Rijn is instituutmanager van Nikhef



INHOUD

2 Einstein Telescope

Een animatie neemt alvast een kijkje

3 Stan Bentvelsen

We kijken weer vooruit

4 Upgrades op CERN

Herstart in zicht

9 Drie Veni-winnaars

over hun onderzoeksplannen

12 Samaya Nissanke

over haar passie voor zwaartekrachtsgolven

14 Advanced Virgo

Detector wordt nog gevoeliger

16 Computing

Rekennetwerk voor komende datavloed

21 LHCb-experiment

Opwindende resultaten

23 De droom van

Arjen van Rijn
over een duurzaam Nikhef