

Voorjaar
2020

Nik|hef

Nationaal
instituut voor
subatomaire fysica

DIM ENS IES



ETpathfinder
Zwaartekrachtsgolfjagers
moeten in Maastricht zijn



Nikhef renoveert: ontmoeting staat centraal

In het najaar van 2020 start de renovatie van het Nikhef-gebouw op het Amsterdam Science Park. Het gebouw gaat van het gas af, krijgt een ingang aan de voorkant en wordt een ontmoetingscentrum voor studenten, technici en wetenschappers.

Een aantal installaties in het gebouw van Nikhef was al enkele jaren toe aan vervanging of groot onderhoud. Het zou veel tijd kosten om elk onderdeel los te repareren of te vervangen. Daarom heeft Nikhef ervoor gekozen om het onderhoud in één keer goed aan te pakken en meteen de uitstraling van het gebouw te moderniseren.

Een in het oog springende ingreep is de verplaatsing van de ingang. Vroeger, toen het Science Park een stuk kleiner was, lag de

ingang op een logische plek. Inmiddels ligt het zwaartepunt van het Science Park aan de andere kant van het Nikhef-gebouw en is het natuurlijker om de ingang ook aan die kant te hebben.

Een tweede verandering is de overkapping van wat nu nog de binnentuin is. Daar komt plek voor een ontmoetingscentrum met een colloquiumzaal, een huiskamer, vergader ruimten en een koffiebar.

De renovatie start in het najaar van 2020. Het gebouw blijft tijdens de renovatie in gebruik. Uiteindelijk moet er een mooi, toekomstbestendig gebouw komen waarin iedereen zich de komende twintig jaar prettig voelt, waar veel discussies en toevallige ontmoetingen plaatsvinden en waar studenten, technici en wetenschappers graag naartoe komen.

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 grondbeginselen 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 2020

REDACTIE

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

AAN DIT NUMMER WERKTEN MEE

Ronald Blinderman (foto's), Juliette Carchedi (vormgeving), Marco Kraan (foto's), Dorine Schenk (tekst), Mats van Soolingen (foto's), Bas Uterwijk (foto's), Gieljan de Vries (tekst).

ONTWERP EN VORMGEVING

Enchilada (ontwerp), Naïm Niebuur
Studio (vormgeving)

OP DE COVER

Stefan Hild, hoogleraar experimentele natuurkunde aan de Universiteit Maastricht, bij een maquette van ETpathfinder. Dat is een testfaciliteit die in Maastricht gebouwd wordt voor onderzoek naar technieken om zwaartekrachtsgolven beter op te vangen.
Foto: Harry Heuts



Deuren en ramen open

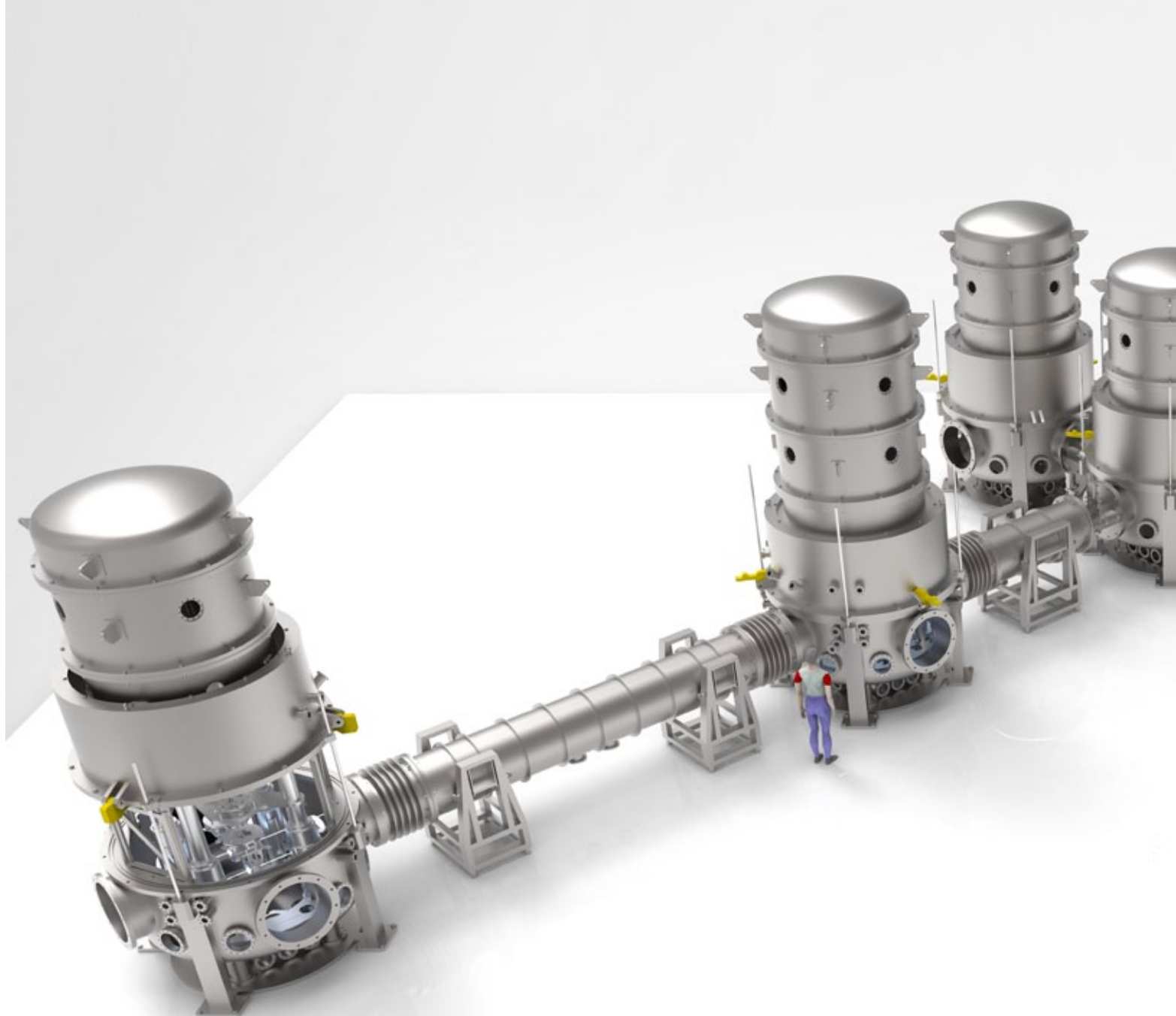
‘Het werken met jonge mensen is heerlijk. Ze houden je jong en het is fijn om ze vooruit te helpen.’ Dat zegt Nikhef-stafid en ATLAS-onderzoeker Pamela Ferrari in een interview in dit derde nummer van ons magazine DIMENSIES. En zo is het maar net. Een gerenomeerd instituut als het onze kan niet zonder een continue instroom van nieuw talent. Jonge mensen die bereid zijn diep in de wereld van het allerkleinste te duiken. Met technisch werk, met theorie, met analyses.

Een deeltjesfysicus werkt bijna altijd in een groot geheel, met honderden of zelfs duizenden collega's. Jagen op dat ene inzicht, die ene doorbraak die alles weer anders maakt, doe je zelden meer alleen. Dat is spannend werk. Maar het kan ook gecompliceerd zijn om in zo'n groot geheel nog een eigen stem als wetenschapper te vinden en te laten klinken. Over die worsteling tussen individu en groep gaat een artikel in dit nummer.

Nikhef zelf gaat de komende jaren letterlijk de deuren open zetten voor nieuwe generaties studenten en wetenschappers, met een flinke renovatie van het gebouw in Amsterdam. Onder meer met een ruime en uitnodigende hal willen we een forum bieden aan volgende generaties nieuwsgierige wetenschappers. Een ontmoetingsplaats waar scherp en fris kan worden gedacht en gewerkt.

Ook in overdrachtelijke zin zijn open deuren en ramen voor Nikhef essentieel. In de speurtocht naar de diepste wetten van het universum moeten we voortdurend alert zijn op wat nog niet bekend is en nog onbeschreven. Bijvoorbeeld met onze detectoren op CERN. En met nieuwe instrumenten als de ETpathfinder in Maastricht, de jongste loot aan het Nikhef-netwerk, die het internationale onderzoek naar zwaartekrachtsgolven ongetwijfeld verder gaat aanjagen.

Stan Bentvelsen, directeur Nikhef



Zwaartekrachts- golven: verder, scherper, beter

Tekst: Martijn van Calmthout / Illustraties Marco
Kraan / Foto's Ronald Blinderman

In een voormalige fabriekshal in Maastricht werken *Stefan Hild* en zijn team aan ETpathfinder. Hier krijgt de toekomst van het onderzoek naar zwaartekrachtsgolven de komende jaren vorm.



Stefan Hild, hoogleraar experimentele natuurkunde aan de Universiteit Maastricht.

Vanuit zijn werkkamer in de vroegere drukkerij van Dagblad De Limburger, tegenwoordig het domein van de Universiteit Maastricht, gaat Stefan Hild ons voor. Lange gangen door, gaat het, trappen af, deuren door. Her en der passeren we opgeslagen meubelen, een verlaten controlekamer. En dan ontvouwt zich vanaf een hoog bordes een reusachtige lege ruimte. De hal waar ooit door de hoge deuren de vrachtwagens binnenreden om rollen papier af te leveren en om de jongste editie van de krant op te halen.

De Zwarte Doos, zoals de Maastrichtenaars het gebouw langs de ringweg noemen, is klaar voor de grootse plannen van Hild en zijn team van natuurkundigen. Op deze plaats, gebaart hij, staat binnen een paar jaar ETpathfinder: een testfaciliteit die internationaal de toekomst van het onderzoek naar zwaartekrachtsgolven mede gaat bepalen.

In de leeggehaalde fabriekshal verrijst nog dit jaar op een nieuwe trillingsvrije zwevende betonvloer een cleanroom met

daarin een geavanceerde laseropstelling met ultradiepg-gekoelde spiegels en manskogel stalen vacuümtorens. Op het bordes waar we staan, komt volgens de bouwtekeningen de nieuwe controlekamer, waar onderzoekers de experimenten beneden op afstand kunnen aansturen.

Stefan Hild is Duitser van geboorte, maar maakte carrière als instrumentenontwerper voor de jacht op zwaartekrachtsgolven aan de Universiteit van Glasgow in Schotland. Vorig jaar kwam hij naar Maastricht om als hoogleraar het zwaartekrachtsgolfonderzoek daar te leiden. Het is een nieuwe groep in het Nikhef-samenwerkingsverband. De onrust door Brexit speelde zeker een rol in dat besluit, zei hij destijds. 'Maar de kans om iets toonaangevends op te bouwen was al reden genoeg.'

Hek van de dam

In 1915 beschreef Albert Einstein hoe zwaartekracht en de kromming van ruimte en tijd onderling verweven zijn. De ruimte-

Betere lasers, betere spiegels, betere onderdrukking van ruis

tijd gedraagt zich volgens zijn algemene relativiteitstheorie als een vierdimensionaal bouw materiaal voor het universum, waarin zelfs trillingen kunnen optreden: zwaartekrachtsgolven. Lange tijd leek het onwaarschijnlijk zulke extreem kleine ruimtetijdtrillingen echt te meten. Maar in 2015 lukte dat wel degelijk. De twee LIGO-detectoren in de Verenigde Staten (één aan de westkust en één aan de oostkust) pikten met hun kilometerslange laserarmen minieme maar samenhangende afstandsvariaties op tussen opgehangen spiegels aan de uiteinden. De conclusie was dat het zwaartekrachtsgolven waren die ooit veroorzaakt moesten zijn door twee botsende zwarte gaten, ver weg in het heelal. Aan de hemel was zelfs min of meer aan te wijzen waar het signaal vandaan moest zijn gekomen. In 2017 was deze primeur goed voor de Nobelprijs voor Natuurkunde.

Sinds de spectaculaire ontdekking uit 2015 is het hek van de dam in het onderzoek naar zwaartekrachtsgolven. Het vakgebied geldt als bijzonder veelbelovend. Wereldwijd zijn duizenden onderzoekers actief. Europa haakte bij het meetnetwerk aan met de Virgo-detector bij Pisa, Italië. In dat project speelt Nikhef een wezenlijke rol. In Japan wordt de KAGRA-detector gebouwd.

Zwaartekrachtsgolven bieden een nieuwe kijk op het universum. Sinds er ruimtetijdtrillingen zijn gemeten in combinatie met telescoopwaarnemingen, is er zelfs sprake van een nieuw onderzoeksveld: multi-messengerastronomie.

Tot het uiterste

De huidige instrumenten waarmee dat allemaal mogelijk is geworden, zijn verbaazingwekkend gevoelig, benadrukt Hild. Met lasers meten ze in een vacuümbuis



Frank Linde, projectleider Einstein Telescope.

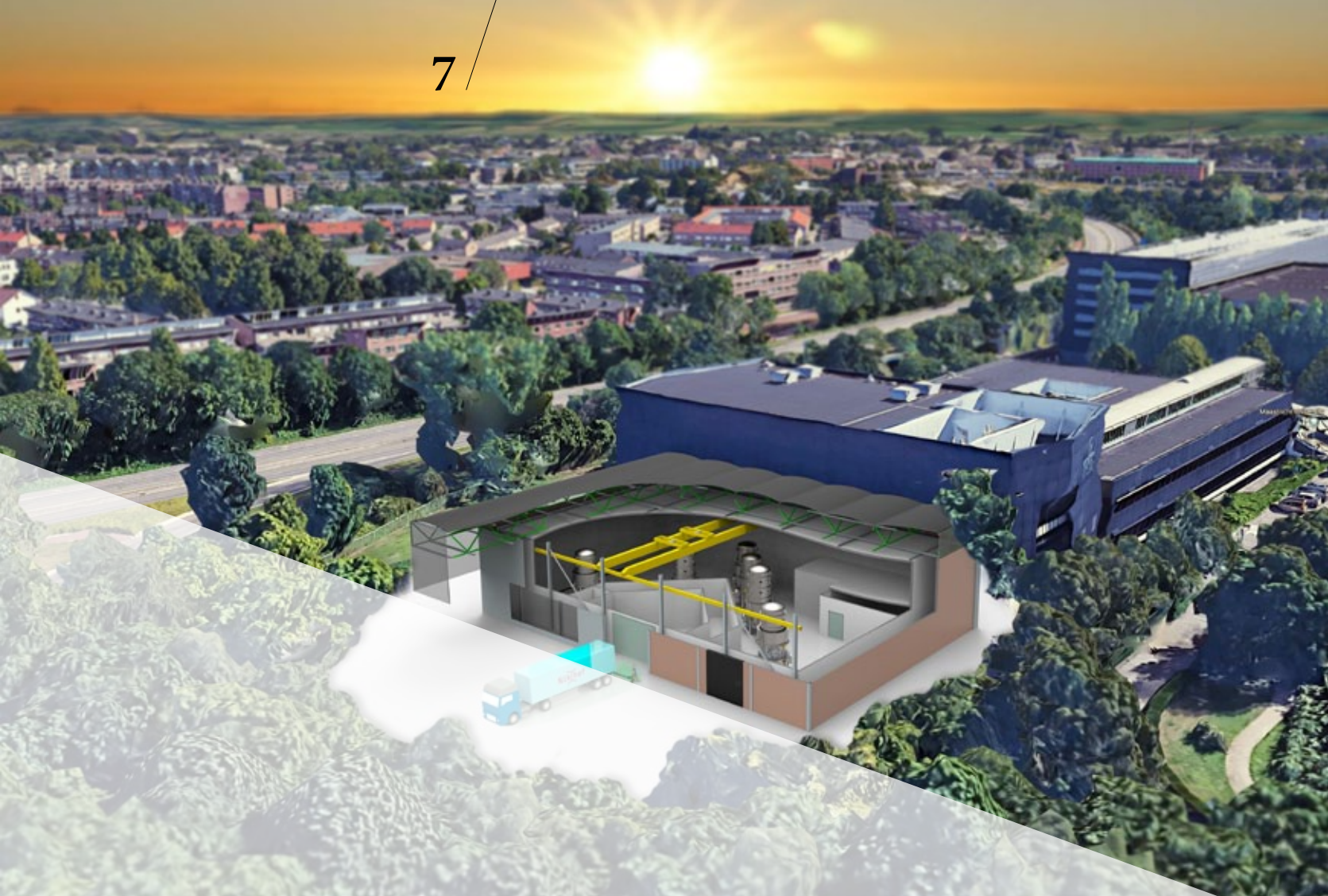
Hoe staat het nu met Einstein Telescope?

Einstein Telescope is een Europees plan voor een ongekend gevoelige detector voor zwaartekrachtsgolven uit het heelal, die bijvoorbeeld ontstaan als twee zwarte gaten na een duizelingwekkende spiraalbeweging smelten tot één nieuw zwart gat. De detector is net als bij LIGO en Virgo een interferometer die met laserstralen variaties in afstanden meet. Volgens de ontwerpen is Einstein Telescope een driehoek met zijden van maar liefst tien kilometer, in tunnels op een diepte van ongeveer tweehonderd meter. Nederland, België en Duitsland werken samen aan een voorstel om Einstein Telescope te realiseren in de drielandenregio rond Vaals.

Nikhef is nauw betrokken bij het voorwerk voor de ontwerpen en de bodemverken-

ning. 'Rond 2022 wordt beslist of het voorstel (een zogeheten bidbook) daadwerkelijk wordt ingediend', zegt projectleider Frank Linde van Nikhef. Daarnaast is er ook een Italiaans plan in voorbereiding voor de bouw van Einstein Telescope op het eiland Sardinië in de Middellandse Zee.

De afgelopen jaren is bij Terziet in Zuid-Limburg een bodemboring tot 250 meter diepte uitgevoerd. Daarbij bleek de bodem geschikt en aantrekkelijk voor een Einstein Telescope. De relatief zachte en losse bovenlaag dempt veel trillingen uit de bovenwereld. De harde ondergrond is stabiel. Dat is een vereiste voor de bouw van de tunnels en de spellonken op de hoekpunten voor de spiegels en de andere instrumenten. Inmiddels is nader onderzoek aangekondigd om een eventuele locatie voor het gehele tunnelcomplex te kunnen kiezen. Economische studies laten bovendien zien dat het internationale wetenschappelijke project weliswaar miljarden zal kosten, maar ook belangrijke voordelen voor de industrie en werkgelegenheid zal opleveren, binnen en buiten de regio. Naar verwachting rond 2023 moet er een besluit vallen over de locatie van Einstein Telescope, waarna ook de financiering vanuit onder meer Nederland zal moeten worden georganiseerd.



Een opengewerkte tekening van de hal in Maastricht waar ETPATHFINDER komt.

“Het zal zijn als het lezen van een geschiedenisboek van het heelal”

afstandsveranderingen tussen spiegels van tienduizend keer kleiner dan de diameter van een proton.

Indrukwekkend. Maar tegelijk kan het allemaal nog een stuk geavanceerder, denkt hij. Betere lasers, betere spiegels, betere onderdrukking van ruis en storingen uit de omgeving. ‘Er zijn nog heel veel factoren waarin we tot het uiterste kunnen gaan’, zegt hij. En de ETPATHFINDER in Maastricht moet daar wat hem betreft een bepalende rol in hebben.

Inmiddels is het ETPATHFINDER-project ingebed in de regio. Nederlandse, Belgische en Duitse universiteiten, industrie en overheden investeren in ETPATHFINDER, deels gefinancierd vanuit EU-budgetten voor interregionale samenwerking.

Astronomische ambities

De ambities van instrumentontwerpers als Hild zijn letterlijk

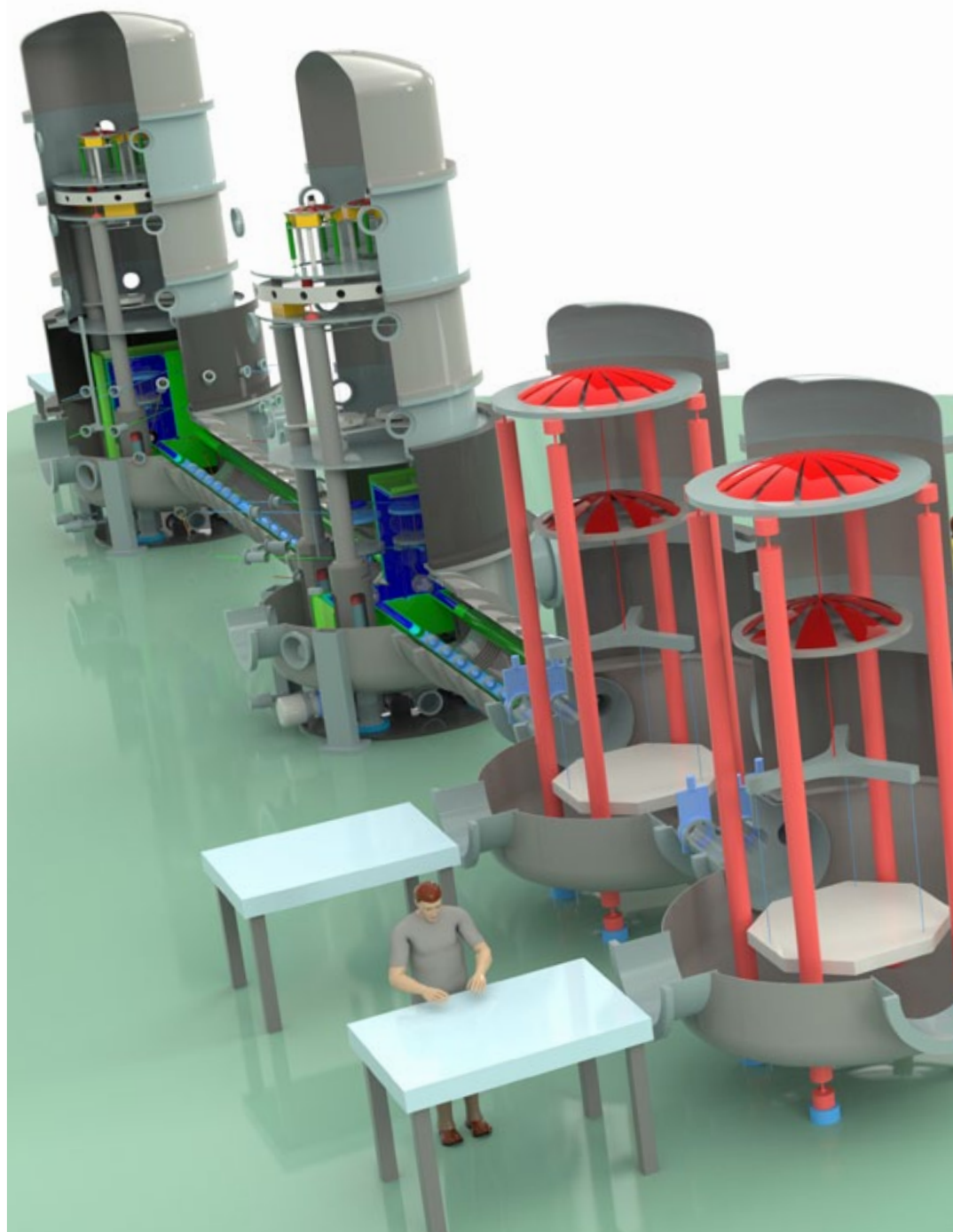
astronomisch. Met detectoren als LIGO en Virgo zijn vanaf de aarde botsende zwarte gaten tot een afstand van een paar miljard lichtjaar te voelen. Een reusachtige afstand, die echter nog in het niet valt bij de omvang van het zichtbare heelal: 46 miljard lichtjaar. Om signalen van zo ver weg ook nog te meten, moeten de detectoren nog veel gevoeliger worden gemaakt. Verder het heelal inkijken, is ook terugkijken in de tijd. ‘Het zal zijn als het lezen van een geschiedenisboek van het heelal’, zegt Hild. ‘We zullen het ontstaan van de eerste sterren kunnen zien en misschien wel helemaal terugkijken naar de oerknal.’ Omgekeerd kan een nog gevoeliger detector de trillingen van zwarte gaten of neutronensterren al voelen nog voordat ze elkaar opslokken, zodat astronomen hun telescopen vooraf kunnen richten op een eventueel kosmisch schouwspel.

Op aarde en in het heelal

Technisch kan dat ook, lijken berekeningen uit te wijzen. In principe, zegt Hild, is het denkbaar om met grotere detectoren zwaartekrachtsgolven uit het hele

Een heel jaar lang zwaarte-krachtsgolven

In april 2019 begonnen de twee LIGO-detectoren in de VS en Virgo in Italië aan een meting van een jaar, om zoveel mogelijk zwaarte-krachtsgolven op te vangen. Daarbij werd een automatische alarmering gebruikt. Daardoor kunnen astronomen snel hun telescopen richten en fysici naar bijvoorbeeld neutrino's uitkijken. In het jaar gingen de detectoren tientallen keren af, deels overigens door aardse verstoringen. In totaal konden tot nu toe zeker veertig nieuwe, echte zwaarte-krachtsgolven worden vastgelegd. De analyses daarvan zijn nog steeds gaande. Verreweg de meeste events leken afkomstig van botsende zwarte gaten, diep in het heelal. Analyses van de golfsignalen hebben ook een aantal botsingen van neutronensterren laten zien. Ook zijn er aanwijzingen voor botsingen tussen objecten die geen gangbare zwarte gaten of neutronensterren zijn. Astronomen zagen daarbij tot nog toe geen lichtsignalen, zoals eerder in 2017 voor het eerst wel gebeurde. De laatste maanden was ook de ondergrondse KAGRA-detector in Japan actief, maar dat leverde nog geen extra waarnemingen op.



heelal op te vangen. Daarvoor moeten de detectoren zeker een factor tien gevoeliger worden dan LIGO en Virgo op papier kunnen halen. Grotere detectoren, met langere armen tussen de spiegels, zijn een begin. Ze vormen de reden dat internationaal wordt gewerkt aan de tien kilometer grote Einstein Telescope (zie kader op pagina 6). Daarnaast is er ook het plan voor de LISA-detector in de ruimte, met armen van liefst 2,5 miljoen kilometer.

Op aarde is de uitdaging vooral om ruis en verstoringen in en buiten de apparatuur te onderdrukken. Materialen trillen en vervormen doordat ze warm zijn. Maar koelen helpt. Vlakbij het absolute nulpunt (iets meer dan 270 graden onder het vriespunt) is de ruis vrijwel nul.

Koelen levert tegelijk ook een uitdaging op voor de massieve spiegels aan de uit-

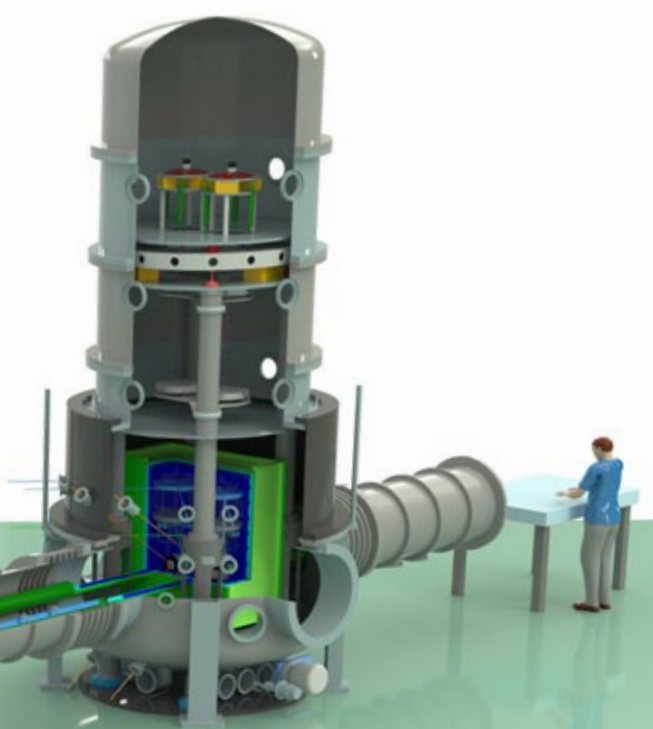
einden van de kilometerslange armen van de detectoren. Om de warmte van de lasers op de spiegels af te voeren moeten die in het vervolg van zuiver silicium worden gemaakt en niet meer van glas.

Spiegels van silicium

Dat kan, maar geeft ook een hele reeks complicaties. De spiegels in de detectoren moeten namelijk doorzichtig zijn voor laserlicht om ze goed te kunnen uitlijnen. Normaal laserlicht van 1064 nanometer golflengte, veelgebruikt in de telecommunicatie, gaat echter niet door silicium. En dus moet een diepgekoelde zwaarte-

9 / ETpathfinder

Een opengewerkte weergave van ETpathfinder. In de zes torens kunnen spiegels en andere onderdelen worden getest en afgeregeld.



“Zonder ETpathfinder kan niemand verder”

krachtsgolfdetector werken met laserlicht van andere golflengtes.

Voor dat andere laserlicht, met een golflengte van 1550 nanometer of zelfs nog langer, bestaat weinig standaardtechnologie. Bronnen, bundelcontrole, sensoren: alles moet opnieuw worden uitgedacht. Zelfs de cryogene koeltechnieken zullen moeten worden verfijnd voor deze nieuwe toepassingen om ongewenste trillingen te vermijden. ‘In dat gebied moeten we nog van alles uitvinden en testen’, vertelt Hild over de talloze uitdagingen. ‘We gaan de toekomst van de zwaartekrachtsgolfdetectie uitvinden op een systematische manier.’

Vind de beste technologie

In de entree van het gebouw in Maastricht staat een prachtige maquette van de toekomstige ETpathfinder. Het is een 3D-geprint schaalmodel dat aan de hand van de echte ontwerpen is gemaakt door de Nikhef-werkplaats in Amsterdam. In het ontwerp is het experimentele karakter van de installaties goed te zien. ETpathfinder bestaat uit twee vacuüm-armen van twintig meter waarin tegelijk verschillende lasers en koeltechnieken kunnen worden getest en vergeleken. In zes torens kunnen spiegels en andere onderdelen worden getest en afgeregeld. ‘Wat we eigenlijk gaan doen is een hele

matrix van parameters verkennen en op die manier de beste technologie vinden’, zegt Hild.

Oppervlakkig heeft ETpathfinder met zijn twee haakse armen vol lasers en spiegels veel weg van de zwaartekrachtsgolfdetectoren als LIGO en Virgo. Maar, laat daar geen misverstand over bestaan: de installatie is geen detector voor zwaartekrachtsgolven maar een research-infrastructuur.

Een laboratorium om nieuwe ideeën en technieken uit te werken en te testen. Bijvoorbeeld voor de Einstein Telescope, het megaproject voor een nieuwe ondergrondse Europese zwaartekrachtsgolfdetector met armen van tien kilometer. Die Einstein Telescope kan eventueel in de grensregio rond Maastricht gebouwd kunnen gaan worden. Hild: ‘Maar zelfs als Einstein Telescope toch niet hier in de buurt komt, is elders de technologie die we ontwikkelen en testen ook gewoon nodig. Zonder ETpathfinder kan uiteindelijk niemand verder.’ ◀

Experimenteel fysicus *Pamela Ferrari* van Nikhef werkt vooral op CERN in Genève. Sinds kort is ze verantwoordelijk voor alle ATLAS-publicaties. Maar zonder eigen onderzoek zou ze gek worden.

A portrait of Pamela Ferrari, a woman with blonde hair and glasses, wearing a dark patterned top. The background is dark and out of focus.

De publicatiechef van ATLAS

Pamela heeft een hondenbaan, zeggen mensen om haar heen. En inderdaad wil Pamela Ferrari wel toegeven dat het leiden van het publicatiecomité van het reusachtige ATLAS-experiment op CERN krankzinnig veel werk is. Bij de metingen met de detector zijn duizenden wetenschappers uit de hele wereld betrokken. Er verschijnen honderden artikelen per jaar. En alles moet zij voor publicatie gezien hebben, alles gelezen, gecheckt en dubbel gecheckt. Zijn alle procedures goed doorlopen? Is al het commentaar verwerkt? Zijn de auteurs goed vermeld?

Toch is de hondenbaan die ze sinds februari van dit jaar heeft tegelijk ook een buitenkans, zegt Ferrari. Ze is even over in Nederland vanuit haar woonplaats Genève. 'Er zijn discussies over het vrijgeven van meetgegevens en over de zichtbaarheid van jonge onderzoekers. Slepende discussies waar ik graag wat vaart mee wil maken. Voorzichtig en zorgvuldig, maar niet alles moet altijd maar bij het oude blijven.'

Geschoold in Italië

Deeltjesfysicus Pamela Ferrari komt uit een Duits-Italiaans gezin in Milaan. Ze voelt zich Italiaans, maar herkent tegelijk ook de Duitse zakelijkheid in zichzelf. Als kind was ze gefascineerd door sterren en planeten, de Melkweg en het onmetelijke heelal. De oneindigheid maakte haar angstig, maar toen ze begreep dat er mensen zijn die het allemaal proberen te begrijpen, wilde ze dat ook: wetenschapper worden.

'Op school had ik helaas een paar slechte leraren, waardoor ik veel meer in de klas-sieke talen uitkwam en mijn oude fascinatie vergat. Maar terwijl de rest van de klas worstelde met het beetje wiskunde dat we wel kregen, begreep ik niet wat er zo moeilijk aan was, dat ging vanzelf. De school adviseerde me uiteindelijk natuurkunde te gaan studeren. Ik weet nog de verbazing van mijn vader: je bent een meisje, zei hij, wil je echt zo iemand met een dikke bril worden?'

Maar natuurkunde werd het. In Milaan. Eerst een studie. Toen een promotie. 'Bij het DELPHI-experiment op CERN, met de

toen nieuwe LEP-versneller. Alles was nieuw en opwindend. Daar houd ik van. Je moet mij niet op invuloefeningen zetten.'

Maar het wrong ook. De opleidingen in Italië zijn degelijk, maar het is voor jonge fysici bitter moeilijk om een aanstelling te krijgen in de academische hiërarchie. 'Ik wilde aan het front van het onderzoek zijn en mijn kansen op een carrière vergroten. Een Amerikaanse groep bleek me dat allemaal wel te geven.'

Gegroeid bij CERN

Bij haar sollicitatiegesprek in Indiana gaf de hoogleraar in kwestie, coryfee Gail Hanson, haar een artikel over het higgs-deeltje te lezen. 'Het was het eerste dat ik ooit over higgs las en supermoeilijk, maar ik haalde er die nacht ondanks mijn jetlag een fout uit. Dat maakte wel indruk en ik kreeg de baan bij het OPAL-experiment. Dat draaide op CERN in Genève bij LEP, de voorloper van de huidige LHC-versneller.'

Wat volgde was een avontuurlijke tijd van sleutelen aan het experiment, van nachtwerk en van het najagen van nieuwe deeltjes in de meetgegevens. Ferrari maakte de opwindende reis aan het eind van de levensduur van LEP aanwijzingen voor een higgsdeeltje leken op te duiken. En de deceptie, toen het allemaal toch maar ruis bleek.

Maar de kiem van een obsessie met het higgsdeeltje was gelegd. En toen na de LEP de LHC-versneller werd gebouwd op CERN móest Ferrari erbij zijn. Ze werkte mee aan de bouw van de immense ATLAS-detector en leerde er de Nederlanders kennen. Ferrari sloot zich er als postdoc bij aan. 'Nikhef staat precies voor wat ik wilde: vrijheid en volop professionele kansen.'

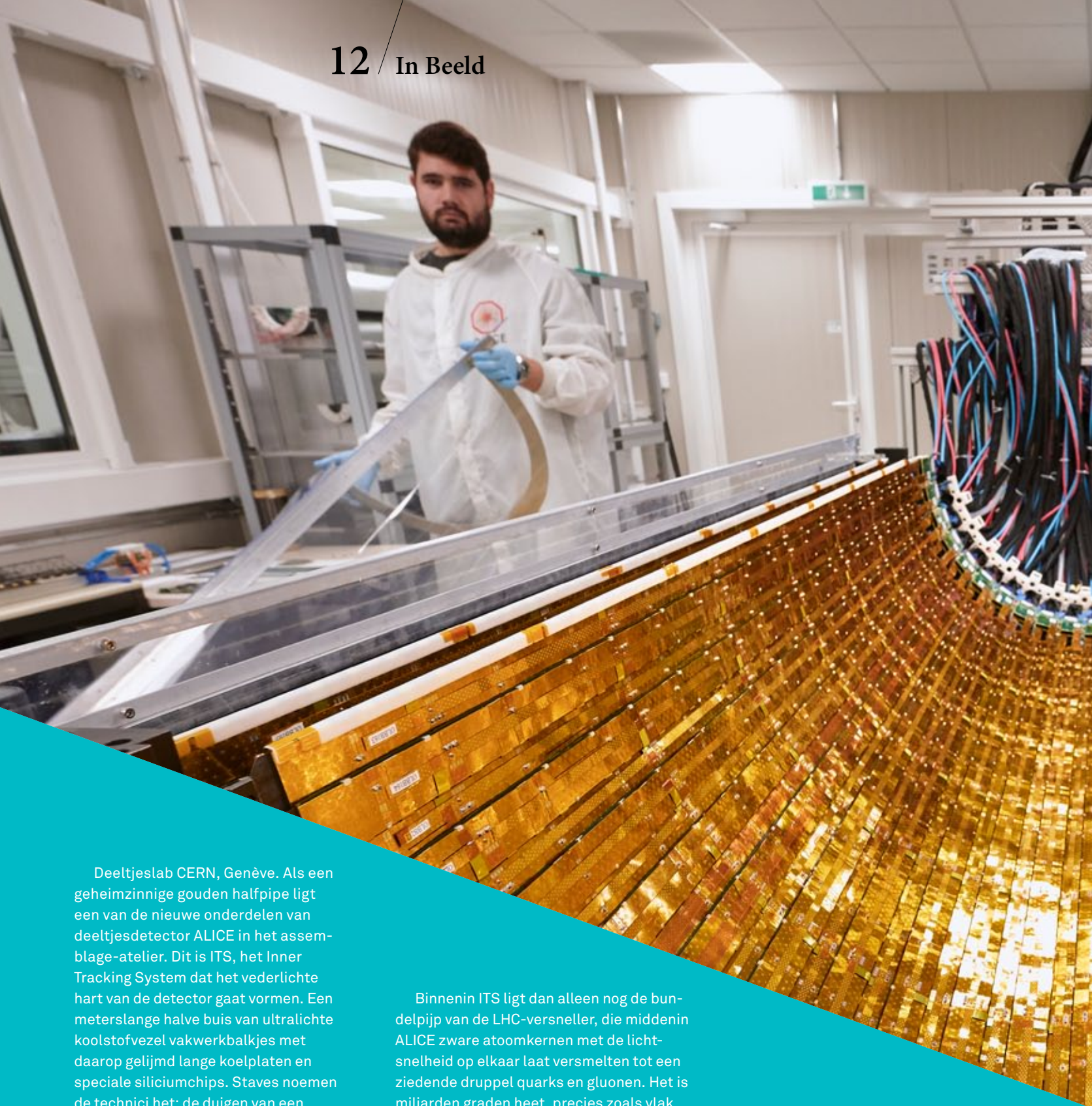
Nederlanders, zegt ze, bevalen haar wel. 'Ik zeg graag wat ik denk, jullie ook. Zwart is zwart, niet donkergrijs, zoals op veel andere plekken in de wereld. Zeker Nikhef is altijd gericht op het oplossen van problemen. Niet op het creëren van meer problemen. Die heldere efficiency, dat moderne, dat bevalt me geweldig goed.'

Bij ATLAS werken duizenden mensen. Dat is en blijft wennen voor haar. 'Het kan niet anders, maar ik ben geen kuddemens, ik voel me snel benauwd door regels en beperkingen. Wat er tegelijk mooi aan is, is het internationale, met zoveel verschillende mensen. Het werken met jonge mensen is heerlijk. Ze houden je jong en het is fijn om ze vooruit te helpen. En grappig: ik vergeet vaak ook dat ik een vrouw ben. Zo erg zelfs dat ik mezelf een CERN-guy noem en in het Italiaans de mannelijke vervoeging gebruik.'

'Ik ben wat dat betreft echt wel een beetje gek ook. Zodra het over deeltjes gaat, vergeet ik al het andere. Dan maak ik me nergens meer zorgen over. Dan is alles hier en nu. Het is beslist iets obsessiefs, maar dan leef ik voluit. Ook daarom was het zo mooi dat we het higgsdeeltje in 2012 echt hebben gevonden. Het deeltje was dus niet zomaar een theoretisch idee, zoals sommige oude professoren dachten. Dat was toen niet zo gek trouwens: het higgsdeeltje is ook een behoorlijk vreemde toevoeging aan de deeltjestheorie. Alleen bestaat het rare deeltje dus gewoon echt. Kennelijk is die vreemde toevoeging precies hoe het werkt.'

'Ik was die dag, 4 juli 2012 was het, op een conferentie in Melbourne, maar ik heb staan juichen bij de beelden uit Genève. Ikzelf wist toen al een paar maanden dat we de higgs hadden, trouwens. Ik had de bobbel in de grafiekjes zien groeien. Dat is voor mij ook hoe de higgs er echt uitziet. Geen bolletje, maar een piekje in een grafiek. Momenteel werken we met allerlei nieuwe analysetechnieken de metingen door om meer over de higgs te weten te komen. Dat blijkt verrassend goed te werken.'

'Tegelijk kan ik me ook wel ergeren aan mensen die doen alsof de natuurkunde na de higgs klaar is. Natuurlijk niet. We hebben een mysterieus nieuw ding gevonden. Een mistig continent. Dan wil je er toch zeker alles van te weten komen? Zijn er bergen? Wat leeft er? Ik kan me niet voorstellen dat je dat niet wilt weten.' ◀



Deeltjeslab CERN, Genève. Als een geheimzinnige gouden halfpipe ligt een van de nieuwe onderdelen van deeltjesdetector ALICE in het assemblage-atelier. Dit is ITS, het Inner Tracking System dat het vederlichte hart van de detector gaat vormen. Een meterslange halve buis van ultralichte koolstofvezel vakwerkbalkjes met daarop gelijmd lange koelplaten en speciale siliciumchips. Staves noemen de technici het: de duigen van een high-tech ton.

Het goud is overigens geen goud, maar polyimide-folie met ragdunne koperen voedingskabels voor de sensoren. Dun genoeg om vrijkomende deeltjes in het experiment niet in de weg te zitten.

Het Inner Tracking System wordt een stelsel van zeven van dit soort lichtgewicht kokers vol sensorchips. Ze zullen in opklimmende diameters het hart van de ALICE-detector vormen. Uiteindelijk is ITS een hightech plug van een halve meter in diameter en twee meter lang die in ALICE wordt geschoven.

Binnenin ITS ligt dan alleen nog de bundelpijp van de LHC-versneller, die middenin ALICE zware atoomkernen met de lichtsnelheid op elkaar laat versmelten tot een ziedende druppel quarks en gluonen. Het is miljarden graden heet, precies zoals vlak na de oerknal waarin het heelal zelf moet zijn ontstaan. ITS moet de deeltjes betrappen die uit die ziedende oersoep ontsnappen en de fysici vertellen wat er daarbinnen precies gaande is.

Op oudere opnames van botsende loodkernen is een verbijsterende warboel van rondvliegende deeltjes te zien. Veel eigenschappen van de druppel quarks en gluonen zijn daaruit inmiddels af te leiden. Maar veel is ook nog onduidelijk.

Meer metingen, vooral aan zeldzame processen waarbij zware deeltjes met charm- of beauty-quarks ontstaan, moeten theoretici de meeste houvast

geven, is de verwachting. De nieuwe inner tracker doet dat van nog dichterbij dan de eerdere versie. Daardoor kunnen de kernbotsingen preciezer worden bekeken.

Honderd keer beter

ITS is te zien als een van de grootste digitale camera's ter wereld. Het oppervlak is in totaal tien vierkante meter. Er zijn ruim 12,5 miljard pixels. De camera kan details tot vijf duizendste millimeter zien.

Het energieverbruik van het systeem is zo laag mogelijk gemaakt. Er is een speciale nieuwe chip voor ontwikkeld waardoor de sensor en de elektronica in



Nog *dichter* bij de oerknal

dezelfde plak silicium zitten. Dat scheelt kabels en elektronica in de detector.

In de komende meetperiode kan ITS gemakkelijk honderd keer zoveel meetgegevens verzamelen als alles wat ALICE in eerdere rondes binnenhaalde. Dat is cruciaal voor het bestuderen van zeldzame maar veelzeggende processen in de zie-dende oersoep.

Sensorvrije duigen

ITS is maar een van de onderdelen van ALICE die tijdens de huidige versnellerstop van ruim twee jaar worden vernieuwd. Ook de elektronica zal door snellere en moder-

nere versies worden vervangen. Daar is ook de trigger-apparatuur bij die beslist welke botsingen bijzonder genoeg zijn om vast te leggen. Het computersysteem dat data verzamelt en toegankelijk maakt, wordt eveneens vernieuwd.

De upgrade-periode is een hectische tijd. Het binnenste van de grote ondergrondse detector is vorig jaar meteen leeggehaald. Tot alle nieuwe onderdelen zijn ingebouwd, staan de karakteristieke rode stalen deuren wijd open in het ondergrondse laboratorium. Inmiddels beginnen de vervangende componenten voltooid te raken voor montage. De detector moet klaar zijn in het voorjaar van 2021. Dan komt de LHC-versneller weer in bedrijf.

In totaal zitten er per laag in ITS een

kleine honderd sensorduigen. Een kwart van alle duigen, die in de lagen nummer 6 en 7, zijn gemaakt op Nikhef in Amsterdam. Daar lijmden leden van het ALICE-team met eindeloos geduld de koeling en de sensoren stuk voor stuk handmatig op de ijle koolstofvezel dragers. Deze sensorduigen zijn vorig najaar al in trillingsvrije kratten van Amsterdam naar Genève verscheept. Daar construeerden CERN-technici er de halfpipes van ITS mee.

Inmiddels zijn alle delen klaar en ondergaan ze in Genève duurtests. Bovengronds, zodat eventuele defecten nog te repareren zijn. Eenmaal ondergronds en ingebouwd zal ITS voor jaren vlakbij de deeltjesstroom zijn en dus onbereikbaar. ◀



Het onderzoeksteam. Rechts met rode jas staat verslaggever Dorine Schenk.



Neutrino's vangen in de Middellandse Zee

Wetenschapsjournalist *Dorine Schenk* mocht, bij hoge uitzondering, mee met het schip dat de detectorlijnen van KM3NeT in de Middellandse Zee laat zakken.

Op een windstille januariochtend ga ik met een tiental onderzoekers in het Zuid-Franse La Seyne-sur-Mer aan boord van het vijftig meter lange schip Castor 02. We bewonderen de twee bolvormige frames van twee meter hoog die op het dek staan. Om elk frame zit een lijn gewikkeld met achttien detectorbollen die lijken op discoballen.

Deze lijnen gaan we neerlaten in de Middellandse Zee. Ze zullen deel uitmaken van een gigantische detector genaamd KM3NeT, die gaat speuren naar neutrino's. Deze deeltjes ontstaan bij kernreacties in de zon, bij kosmische straling die op de atmosfeer knalt en bij heftige gebeurtenissen in het verre heelal.

Neutrino's zijn talrijk; alleen al door je duim vliegen er honderd miljard per seconde. Maar ze zijn bijna onmeetbaar omdat ze nauwelijks interacties hebben met andere deeltjes. Ze vliegen met het grootste gemak door de aarde. Er is nog veel onbekend over de eigenschappen van neutrino's en de heftige gebeurtenissen waarbij ze ontstaan.

ARCA en ORCA

Om deze raadsels op te lossen wordt de kubieke kilometer neutrinotelescoop, kortweg KM3NeT, gebouwd in de Middellandse Zee. Die bestaat uit honderden lijnen met daaraan bollen met lichtdetectoren. Heel af en toe botst een neutrino op een atoom van het zeewater. Daarbij ontstaat een razendsnel deeltje dat een zwak lichtspoor achterlaat als het door water beweegt. De lichtdetectoren meten waar en wanneer ze dat lichtspoor zien. Met die informatie reconstrueren fysici de energie en richting van het neutrino.

KM3NeT zal bestaan uit twee locaties. Op honderd kilometer uit de kust bij Italië komt het ARCA-gedeelte. Dat zal met 230 detectorbollenlijnen zoeken naar energierijke neutrino's uit het verre heelal om hun bronnen te achterhalen.

De tweede locatie, waar we op deze ochtend in januari heen varen, ligt veertig kilometer uit de Franse kust en heet ORCA. Hier komen 115 lijnen waarmee onderzoekers eigenschappen van neutrino's zullen bestuderen die bij het botsen met de aardatmosfeer zijn ontstaan. De eerste vier detectorlijnen zijn maanden geleden geplaatst op de zeebodem. Dit weekend komen er twee bij.

'De bollen van vijf van deze zes lijnen zijn in Amsterdam gemaakt', vertelt Paul de Jong, programmaleider van de Nikhef-neutrinogroep. 'Nikhef is de grootste bollenleverancier en het ontwerp is grotendeels Nikhef-werk, met een grote inbreng van de inmiddels gepensioneerd Nikheffer Paul Kooijman. Hij bedacht bijvoorbeeld dat meerdere kleine lichtdetectoren die verschillende kanten op kijken in een bol beter zijn dan één grote lichtdetector, zoals in eerdere neutrinodetectoren.'

Duikrobot

Terug naar de Castor 02. 'Het plan is om vanmiddag om één uur te beginnen', vertelt Patrick Lamare van het Centre de Physique des Particules de Marseille (CPPM) en leider van de installatie van ORCA. 'Als alles goed gaat, zijn we zondagavond terug aan wal.'

Zo soepel gaat het niet. Zaterdagmiddag, als het eerste frame met bollenlijn in het water hangt, werkt de duikrobot niet. Die is nodig om de lijn uit te laten rollen en om de stekker aan te sluiten aan een eerder geplaatste detectorlijn. Via de stekker komen de metingen naar de wal en krijgen de bollen stroom. Hiervoor komen enkele onderzeese stopcontacten op de bodem.

De duikrobot van het bedrijf Comex lijkt verschillende kuren te hebben. Het duurt tot zondagochtend voordat hij werkt. Dan kan de plaatsing eindelijk toch beginnen en dalen de lijn en de robot af naar de zeebodem op 2,5 kilometer diep. De duikrobot



doet ongeveer een uur over die afdaling, de bollenlijn twee uur. Dan kijken we gespannen naar de videobeelden van de duikrobot waarop te zien is hoe de Comex-bestuurder voorzichtig de stekker in een eerder geplaatste unit steekt en, na laatste controles, het frame laat afrollen.

TNO-onderzoeker Ernst-Jan Buis is mee. Hij maakt zich zorgen om een kabel die de duikrobot gevaarlijk dicht nadert. 'Misschien kunnen we er bij de volgende lijnen een buis omheen doen ter bescherming', suggereert hij.

Terug naar de kust

Als de lijn afrolt, klinkt bescheiden gejuich. Een paar uur later volgt de tweede lijn. Die wordt uiteindelijk op maandagochtend afgerold. Nadat de frames uit het water gevist zijn voor hergebruik, keren we terug naar de kust.

'Terwijl jullie nog op zee waren, konden wij de eerste metingen al doen zodra de detectorlijnen aangesloten waren', vertelt De Jong. 'Eerst kalibreren we de tijd en positie van de detectorbollen. Daarna gaan we kijken of we de lichtsporen kunnen herkennen en begrijpen.'

Met de zes lijnen blijken al duidelijke deeltjessporen te zien. Dat geeft hoop voor 2024, als de ORCA-locatie compleet moet zijn. ARCA is waarschijnlijk in 2026 klaar. ◀

Samen of alleen!

Foto: CERN.

Onderzoekers in de deeltjesfysica werken vaak samen met duizenden vakgenoten. Hoe gaan zij om met kleine teams en megasamenwerkingen?

Tekst: David Redeker / Foto's: Ronald Blinderman

De deeltjesfysica is zich bewust van het feit dat jonge onderzoekers ondergesneeuwd kunnen raken in grote samenwerkingsverbanden. In 2018 hield een Europese werkgroep met daarin Nikhef-directeur Stan Bentvelsen een enquête onder ruim duizend deeltjesfysici. Vragen uit de enquête waren onder andere: als je een artikel in een wetenschappelijk tijdschrift publiceert, mag je dan eerste auteur zijn, of gaat het op alfabet? Kun je presenteren op grote congressen en mag je dan zelf bepalen wat je presenteert? Zijn er genoeg mogelijkheden om jezelf in de kijker te spelen?

Uit de enquête bleek vooral dat vooral dat op veel gebieden de gebruiken én de meningen nogal verdeeld zijn. Dat is bijvoorbeeld het geval bij het presenteren op congressen en bij het publiceren van wetenschappelijke resultaten.

Presentaties verdienen

Als er duizenden onderzoekers zijn, die allemaal minstens eens in de vier jaar een presentatie op een gerenommeerd congres willen geven, dan kan dat behoorlijk ingewikkeld worden. Alice Alfonsi, derdejaars PhD-student in de ATLAS-groep van Nikhef legt uit hoe het bij ATLAS (drieduizend onderzoekers) gaat: 'Je kunt punten krijgen voor servicetaken, zoals aanwezig zijn in het controlecentrum van de LHC. Als je veel punten hebt, dan mag je presenteren op een congres. Maar het dubbele is natuurlijk dat juist als je veel punten hebt, je weinig wetenschappelijk bezig bent geweest.' Alfonsi denkt er het hare van en vult aan: 'Onze groep bij Nikhef probeert om elke PhD-student minstens een keer op een internationaal congres te laten spreken.' Stefano Manzoni, postdoc bij ATLAS, heeft ervaren dat het altijd wel goed komt bij

ATLAS. Hij laat vanuit Genève weten dat hij afgelopen drie, vier jaar elk jaar een presentatie over zijn onderzoek heeft gegeven op een conferentie.

Jordy Butter, tweedejaars PhD-student bij de LHCb-groep van Nikhef, denkt voorlopig in stapjes: 'Bij LHCb (dertienhonderd onderzoekers) wordt vaak in kleinere groepen gewerkt. Ik heb al een paar keer gepresenteerd voor een werkgroep en in november hield ik een korte presentatie in Lunteren tijdens de jaarlijkse Nederlandse conferentie voor deeltjesfysici. Het zijn nog geen grote congressen, maar dat komt nog wel.'

Wetenschappelijke publicaties

Het publiceren van wetenschappelijke artikelen is een heet hangijzer. Bij de enquête onder deeltjesfysici in 2018 bleken de meningen verdeeld. Een deel van de onderzoekers publiceert in grote collaboraties en vindt het prima dat de auteurslijst op alfabet is geordend. Een ander deel van de geënquêteerden vindt het niet fijn. Verder is er een groep die zichzelf wél als eerste auteur kan opvoeren en daar ook blij mee is. Ook zijn er mensen die dan wel als eerste auteur kunnen staan, maar liever zouden hebben dat het alfabetisch ging.

De meeste Nikhef-onderzoekers vinden hun weg wel als het gaat om publiceren. Voor Alice Alfonsi bijvoorbeeld, is de publicatiediscipline bij ATLAS geen probleem. 'Er zijn ook kleinere publicaties waar je met een selectie van de namen op staat.' Jordy Butter meldt: 'Op de publicatie zelf komt 'LHCb-collaboratie' te staan, maar als contactpersoon komt mijn naam en die van mijn naaste begeleiders.'

Een deel van de onderzoekers bij het LHCb-experiment in CERN.

Publiceren op eigen naam is normaal voor Eleftheria Malami, derdejaars PhD-student in de theoriegroep van Nikhef. 'Ik kan in mijn eentje publiceren of met een kleine groep. Dan komen onze namen op alfabet op de publicatie te staan. Maar omdat de groep zo klein is, is het heel overzichtelijk.'

Rob Walet, vierdejaars PhD-student in de zwaartekrachtsgolvengroep van Nikhef, herkent het: 'Als ik in klein teamverband opereer en een specifieke onderzoeksmethode beschrijf, dan kan ik met die kleine groep publiceren.'

Carrièreplanning

Hoe zit het met de carrièreplanning van de Nikhef-onderzoekers? Bouke Jung, eerstejaars PhD-student bij de KM3NeT-groep van Nikhef houdt nu al rekening met wat hij de komende jaren wil doen. 'Bij KM3NeT (ongeveer driehonderd onderzoekers) is veel werk te verrichten op het gebied van de kalibratie van de detectoren. Ik ga eerst kalibreren, maar daarna ga ik ook met de fysica bezig.'

Daan van Eijk, stafid bij Nikhef en coördinator van de bouw en ontwikkeling van de detectielijnen van KM3NeT, lag eigenlijk nooit zo wakker over zijn carrière. 'Bij mijn eerste postdoc heb ik echt voor mezelf gezegd: ik ga me daar nu niet druk over maken. En, oké, bij mijn tweede postdoc heb ik ervoor gezorgd dat ik wat meer praatjes hield op conferenties.' Van Eijk promoveerde bij LHCb, werkte na zijn promotie bij TNO, stond in het theater als cabaretier, deed een eerste postdoc bij KM3NeT en een tweede bij de Amerikaanse concurrent IceCube. 'Die tweede postdocplek, bijvoorbeeld, kreeg ik op basis van vertrouwen. De mensen van IceCube zagen dat ik wel wat wist van neutrinedetectoren met meerdere lichtsensoren erin en gingen ervanuit dat mijn ervaring genoeg was.'

Stefano Manzoni zag ondanks de grote collaboratie kans om te schitteren. Hij won de prijs voor het beste ATLAS-proefschrift. En, zo zegt hij, 'ik heb gemerkt dat je bij het aanvragen van subsidies of bij sollicitaties vaak kunt aangeven wat jouw bijdrage was aan het geheel.'

Grote, maar werkbare verschillen

Al met al is er een behoorlijk verschil tussen de samenwerkingsverbanden. Bij sommige collaboraties moet je goed je best doen om op een internationaal congres te spreken, maar het kan wel. Qua publicaties zijn er ook verschillen, maar er valt goed mee te leven en de regels zijn vaak duidelijk.

En op het gebied van carrièreplanning houden de meeste jonge onderzoekers goed in de gaten dat ze niet alleen bezig zijn met het kalibreren van een detector, maar dat ze ook wetenschappelijke analyses uitvoeren. Daarbij hebben subsidieverstrekkers en toekomstige werkgevers gelukkig meestal een plek op hun formulieren waar onderzoekers kunnen aangeven wat hun bijdrage was.

En de enquête uit 2018 onder duizend natuurkundigen? Die heeft inmiddels tot vervolgacties geleid. Zo is er een internationale dag geweest speciaal voor jonge onderzoekers, waar ze ongedwongen konden discussiëren over het probleem. Daarnaast heeft de werkgroep onder leiding van Stan Bentvelsen contact gezocht met de leiders van de grote samenwerkingsverbanden om ze te prikkelen om jonge mensen letterlijk en figuurlijk een groter podium te bieden.



'Er is altijd een nieuwe uitdaging'

Naam? Alice Alfonsi

Geboortjaar? Die hou ik geheim.

Het begon als een grap, maar nu willen verschillende onderzoeksgroepen bij Nikhef erachter komen.

Functie? Derdejaars PhD-student in de ATLAS-groep

Wat onderzoek je? Ik kijk naar het verval van een higgsdeeltje in twee muonen.

Ingewikkeld? Ja, behoorlijk. We moeten namelijk terugwerken van twee muonen naar het higgsdeeltje. Het probleem is dat er bij een heel ander proces ook twee muonen ontstaan. Dat proces komt veel en veel vaker voor dan het verval van het higgsdeeltje. Dus voor je het weet, verdrink je een zee van achtergrondruis.

Favoriete onderdeel? Dat je mentaal gestimuleerd wordt. Er is altijd een nieuwe uitdaging.

Wat houdt je wakker? Het feit dat je veel moet produceren en presenteren. Als het één maand pieken is, dan is dat oké, maar het gaat vaak maanden achter elkaar door.

Leven naast Nikhef? Ik hou van fotograferen. Soms heb ik betaalde opdrachten. Bijvoorbeeld om foto's te maken van concerten of modellen.

En verder? In oktober ben ik twee weken alleen op wandelvakantie geweest. Met een tentje, een rugzak en mijn camera. Ik begon in Portugal en eindigde driehonderd kilometer verderop in Spanje.

Gevaarlijk? Ach, ik ben opgegroeid in Rome. Dat was soms ook spannend.



‘Overleg veel’

Naam? Jordy Butter

Geboren? 1994

Functie? Tweedejaars PhD-student bij LHCb

Wat onderzoek je? Ik kijk in de LHCb-data hoe vaak twee hadronische vervallen voorkomen. De ene is het verval van een B-meson naar een Ds-meson en een pion. De ander is het verval van een Lambda b-deeltje naar een Ds-meson en een proton. Dat de LHC stilligt, is geen probleem, omdat LHCb meerdere jaren data heeft verzameld. De data waarmee ik nu werk, zijn betrouwbaar en er zijn ook goede simulaties.

Lig je weleens wakker? Nou, eigenlijk niet. Ja, ik denk wel eens voor het slapen aan kleine dingen in de analyse die misschien anders moeten. Maar dat laat ik vrij gemakkelijk los tot de volgende dag.

Favoriete onderdeel? Dat ik met veel verschillende nationaliteiten aan een groot experiment werk en toch mijn eigen onderdeelje heb.

Beste advies? Overleg veel. Ik heb het niet van iemand in het bijzonder gekregen, maar ik merk gewoon dat het werkt. We hebben bijvoorbeeld elke week een overleg via Skype. Dat zorgt ervoor dat je niet een maand lang een dood spoor bewandelt.

Leuk feit? Met oud-collega's van een bijbaan bij de Praxis huren we geregeld een ijshal af in Hoorn. Dan gaan we lekker ijshockeyen.



‘Gebruik je boerenverstand’

Naam? Daan van Eijk

Geboren? 1984

Functie? Stafid bij de KM3NeT

Wat doe je? Ik coördineer de productie van de detectorlijnen van KM3NeT. Je kent misschien de glazen bollen met een diameter ter grootte van een dartbord. Die worden op verschillende plekken in Europa gebouwd en in elkaar gezet. Ook de lijnen van honderden meters lang waar de bollen aan hangen, worden door heel Europa gebouwd. Alles moet passen.

Stress? KM3NeT is net als alle andere deeltjesfysica-experimenten enig in zijn soort. Dat betekent dat er allemaal nieuwe technologie ontwikkeld moet worden om het experiment mogelijk te maken. Ik maak me bijvoorbeeld zorgen of alle optische en elektrische systemen wel waterdicht zijn onder de immense waterdruk op enkele kilometers diepte.

Favoriete onderdeel? Het contact met mensen. Je kunt wel wekelijks met elkaar een telefonie hebben, maar je begrijpt pas echt iemands beweegredenen als je met ze koffiedrinkt.

Beste advies? Dat was van Niels Tuning, mijn PhD-begeleider bij Nikhef. Ik vond hem en de andere collega's altijd zo slim. Niels zei toen een keer: 'Ja, sorry hoor, ik gebruik ook gewoon maar mijn boerenverstand.'

Leuk feit? Ik heb mijn piano aan Nikhef geschonken. Toen ik hem kocht van mijn zus had ik niet gerealiseerd dat ik in een pijpenlaatje in de Jordaan woonde. Ik ging met directeur Stan Bentvelsen praten en toen was het geregeld.



‘Stel vragen’

Naam? Bouke Jung

Geboren? 1996

Functie? Eerstejaars PhD-student bij KM3NeT

Wat onderzoek je? Ik kijk naar neutrino's die ontstaan bij interacties in onze atmosfeer. De neutrino's zelf kunnen we niet zien. Wel hun reactieproducten. Soms botst een neutrino met een watermolecuul in de buurt van onze KM3NeT-detectors in de Middellandse Zee. Bij zo'n botsing ontstaat er een muon dat vervolgens licht uitzendt. Ik probeer erachter te komen hoeveel muonen we per uur kunnen meten.

Waar lig je wakker van? Dat de weersomstandigheden tegenvallen. We willen zoveel mogelijk lijnen met detectoren uitrollen in de zee, maar dan moet het weer wel gunstig zijn. Gelukkig krijgen we al data binnen, dus kan ik aan de slag. Al heb ik nog niet genoeg gegevens voor harde conclusies.

Favoriete onderdeel? Ik vind de colloquia en de conferenties het leukst. Daar ontmoet ik veel enthousiaste mensen en krijg ik nieuwe inzichten. Laatst was ik in Lunteren bij een lezing over schijderij-onderzoek met behulp van deeltjesfysica. Heel interessant.

Beste advies? 'Wees niet bang om vragen te stellen.' Mijn docenten zeggen dit vaak, maar ik merk dat ik toch moed moet verzamelen om die stap ook echt te zetten. Zeker in het bijzijn van mensen die misschien al veel meer begrijpen. Uiteindelijk kom ik door vragen niet alleen zelf verder, maar blijken ook anderen vaak met hetzelfde probleem te zitten.

Hobby's? In de ochtend zwem ik vaak baantjes. En ik speel graag piano. Bijvoorbeeld op de piano van Nikhef en op treinstations.



‘Wees niet bang’

Naam? Eleftheria Malami

Geboortejaar? 1991

Functie? Derdejaars PhD-student in de theoriegroep

Waar werk je aan? Ik onderzoek het Standaard Model. Of eigenlijk, de dingen die het Standaard Model niet goed kan verklaren, zoals de ongelijkheid in materie en antimaterie. Ik bedenk bijvoorbeeld theorieën die verklaren hoe B-mesonen kunnen vervallen in twee muonen. Volgens het Standaard Model zou dat verval heel zeldzaam zijn, maar toch is het in 2012 voor het eerst waargenomen.

Alleen in theorie? Nee, ik hou me vooral bezig met de theorie, maar werk ook samen met onderzoekers van LHCb. Zo komen theorie en experiment bij elkaar.

Waarvan lig je weleens wakker? Ik denk soms na over mijn volgende loopbaanstap. Ga ik door in de wetenschap? En hoe zorg ik ervoor dat ik me blijf ontwikkelen?

Beste advies? ‘Wees niet bang voor moeilijke dingen.’ De eerste die dat tegen mij zei, was een docente op de middelbare school. Ik was de beste op school en ik wilde dat ook laten zien in de toelatingsexamens die je in Griekenland moet doen voor de universiteit. De docente zei dat ik niet bang hoefde te zijn. Dat verlichtte de druk. Het advies gebruik ik nog dagelijks.

Hobby's? Ik heb een piano-opleiding en een opera-opleiding afgerond, hou van opera zingen (sopraan) en doe aan moderne dans.



‘Op de rand van wat we weten’

Naam? Stefano Manzoni

Geboren? 1989

Functie? Eerstejaars postdoc bij ATLAS (nu op CERN)

Wat onderzoek je? Ik bestudeer het higgsdeeltje. Tijdens mijn PhD-onderzoek keek ik vooral naar de massa. Nu probeer ik grenzen op te stellen voor de sterkte waarmee het higgsveld zichzelf beïnvloedt. Dat is de zogeheten higgs-zelfkoppeling.

Ingewikkeld? Nou, we kunnen die zelfkoppeling op twee manieren meten. De eerste is een directe zoektocht naar higgssparen. De tweede is een indirecte speurtocht waarbij we heel precies losse higgsdeeltjes meten.

Favoriete onderdeel? Ik hou ervan om problemen op te lossen. En ik vind het super dat ik me op de rand van wat we weten, mag begeven.

Waar lig je wakker van? (lachend) Dat hangt ervan af. Nou, eigenlijk van krappe deadlines. Bijvoorbeeld als je iets af moet hebben voor een conferentie.

Hobby's? Ik hou van bergsporten zoals klimmen en skiën. Ik lees achtergronden bij het nieuws, op de sites van de Italiaanse kranten La Repubblica en Il Post. En ik kijk graag voetbal en dan vooral naar Inter Milan, de club uit de streek waar ik ben opgegroeid.



‘Daar moet jij later gaan werken’

Naam? Rob Walet

Geboren? 1986

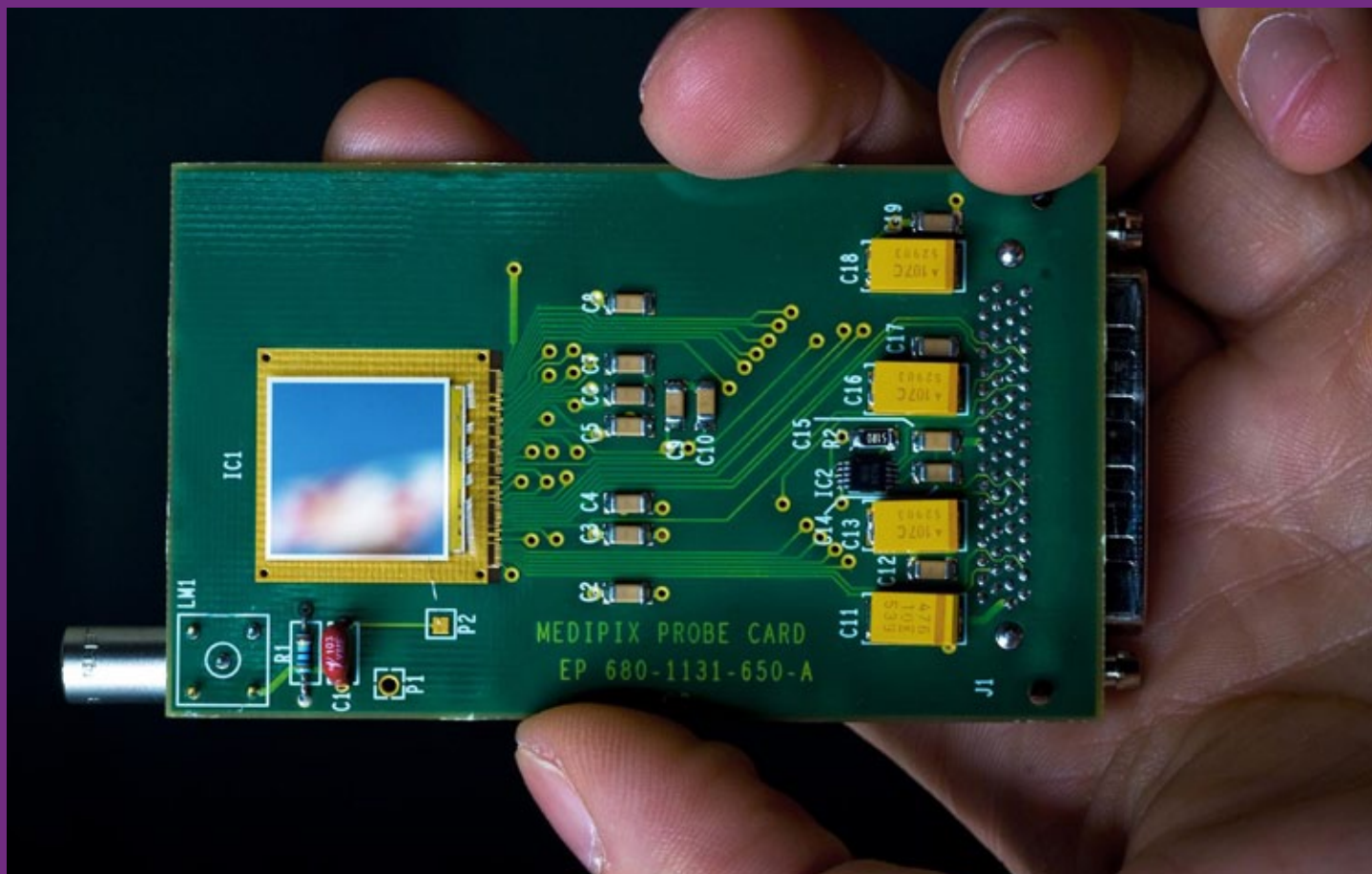
Functie? Vierdejaars PhD-student bij het onderzoek naar zwaartekrachtsgolven

Loopbaan? Ik heb HTS gestudeerd en gewerkt aan de ontwikkeling van productielijnen voor fabrieken van onder andere Volkswagen en BMW. Ik vond de commerciële dynamiek heel mooi, maar miste diepgang. Toen heb ik bij Nikhef gesolliciteerd. Sinds 2012 ben ik engineer voor onder andere XENON1T en LHCb. Vanaf 2016 doe ik mijn PhD in de zwaartekrachtsgolvengroep.

Wat onderzoek je? Ik ben eigenlijk met drie dingen bezig rond het meten van zwaartekrachtsgolven. Als eerste probeer ik scheurvorming te minimaliseren in de seismische isolatiesystemen. Als tweede ben ik betrokken bij het ontwikkelen van een alternatieve sensor die veranderingen meet in het gravitatieveld rond de eindspiegels van Virgo. En als derde, en dat vind ik eigenlijk het mooiste, werk ik aan een nieuw controlesysteem voor de zwaartekrachtsgolfdetector, gebaseerd op patroonherkenning en kunstmatige intelligentie.

Uniek? Ja, we hebben bij Nikhef een miniatuurversie van de Virgo-detector gemaakt. Daarmee kunnen we verschillende controlestrategieën testen en vergelijken. Onze opstelling is klein en modulair. We kunnen hem heel gecontroleerd steeds complexer maken. Belangrijk, want andere wetenschappers begonnen te complex en liepen vast.

Leuk feit? Mijn vader heeft ooit in het ketelhuis van Nikhef gelast. Hij zei: ‘Rob, ik ben nu met een klus bezig op een plek, daar begrijp ik helemaal niks van. Daar moet jij later gaan werken.’



Het Zwitserse zakmes van de deeltjesfysica: *Medipix*

De Medipix-chip maakt röntgenfoto's en meet de tijd. Een van de meest veelzijdige en succesvolle spin-offs van CERN bestaat twintig jaar.

Tekst: Gieljan de Vries

Het is 18 september 2019 en het grote auditorium van CERN zit vol. Vol met meer dan honderdvijftig gasten uit de wetenschap en industrie, en vol met verhalen over de succesvolle familie van Medipix-chips. In de twintig jaar sinds zijn ontstaan, werd Medipix gebruikt voor 3D-röntgenfoto's van je pols, om schilderingen door te lichten, voor materiaalonderzoek, bij NASA-missies en zelfs in het klaslokaal.

Medipix werd in 1999 geboren als spin-off van de pixeldetector in de CERN-versneller LEP. 'Bij een snelle, gevoelige röntgencamera lagen medische toepassingen voor de hand, vandaar de naam', vertelt Jan Visser, industriecontact bij Nikhef en sinds 2007 betrokken bij Medipix.

Zestien onderzoeksinstituten waaronder Nikhef, de Britse medische onderzoeksraad MRC en het Europese synchrotroncentrum ESRF, sloegen in 1999 de handen ineen. Samen met CERN bouwden ze Medipix uit tot een veelzijdige sensor voor elektromagnetische straling en snelle deeltjes.

Zwitsers zakmes

Flexibiliteit is al sinds de begindagen dé kracht van Medipix. De sensor kan timen als een stopwatch of foto's maken als een camera. Van gamma- en röntgenstraling tot geladen deeltjes en snelle, ongeladen neutronen: Medipix en ook de zogeheten Timepix-variant zien het allemaal. Gebruikers kunnen daardoor zowel de detectie als de dataverwerking toesnijden op hun specifieke toepassing. De Medipix-serie schiet foto's zoals de chip in je mobieltje. Terwijl de Timepix-variant als een stopwatch aangeeft wanneer er precies een brokje straling op de chip valt.

Het kost de buitenstaander even om te begrijpen hoe één sensor zoveel verschillende soorten straling kan meten. Het geheim zit hem in de twee lagen van Medipix, legt Nikhef-instrumentatiefysicus Martin van Beuzekom uit: 'De bovenste plak materiaal is gevoelig voor de deeltjes die je wilt meten. Daaronder zit de chip die het signaal opvangt, verwerkt en exporteert.'

3D-röntgenfoto in kleur

De zestien partnerinstituten ontwikkelden samen de basistechniek. Vervolgens kan iedereen op het gemeenschappelijke platform hun eigen

toepassingen bouwen. Voorbeelden van toepassingen zijn het doorlichten van mensen en materialen, vertelt Anthony Butler van het Britse bedrijf MARS Bioimaging tijdens het Medipix-symposium. Op een ouderwetse röntgenfoto zie je alleen hoeveel straling je botten, spieren en pezen in totaal doorlaten, maar Medipix kan dat uitsplitsen naar verschillende golflengtes. Zo kun je weefsels en materialen onderscheiden. Het levert bijvoorbeeld kraakhelder beeld op van de verschillende organen in een muis of van een 3D-beeld van je pols.

In de toekomst wil MARS de scanner verder ontwikkelen tot volwaardig alternatief van bestaande CT-scanners en komt er een kleine variant voor aan het ziekenhuisbed. Daarmee krijgt de arts live 3D-beeld van aderen, gewrichten en implantaten en zelfs van tumoren.

Medicijnen doorlichten

In Nederland zet Medipix voet aan de grond in 2002 als Nikhef Nederlandse bedrijven benadert met de nieuwe technologie. Jan Visser: 'Een echt systeem om mee te testen was er nog niet, maar toch zag instrumentenbouwer Panalytical potentieel en wilden ze met ons in zee.'

Panalytical zet Medipix in voor een snelle techniek om de samenstelling van materialen te onderzoeken: röntgendiffractie. Het is de meest succesvolle commerciële toepassing van Medipix. Tegenwoordig staan er zo'n tweeduizend van die röntgendiffractiesystemen in laboratoria overal in de wereld. Ze worden bijvoorbeeld gebruikt voor de kwaliteitscontrole van medicijnen, waar men precies wil vaststellen of het juiste molecuul is gemaakt.

De samenwerking met Nikhef lag voor de hand, omdat er namelijk veel ervaring is met het ontwikkelen, testen en bouwen van gevoelige detectoren. Nog steeds loopt een deel van de productielijn van de Panalytical-chips door Nikhef's cleanroom. Waardevol, denkt Visser: 'Ook als we eens een periode geen sensoren bouwen voor de deeltjesfysica, houden we onze specialistische kennis op peil en kunnen we investeren in nieuwe apparatuur.'

Scholierensatelliet

Er zijn prachtige verhalen te vertellen over waar Medipix allemaal voor wordt ingezet. Als stralingsdetector bijvoorbeeld in de laptops op het internationale

ruimtestation ISS en voor NASA's toekomstige bemande missies naar Mars. Toch komt de verrassendste toepassing van Medipix uit een heel andere hoek: het onderwijs.

Toen natuurkunde-docent Becky Parker uit Canterbury haar leerlingen in 2007 meenam op schoolreis naar CERN, had ze nog geen idee van de lawine die ze los zou maken. Haar leerlingen hoorden over Medipix en werden razend enthousiast: zou je daarmee ook de kosmische straling uit het heelal kunnen meten? Dat idee groeide uit tot de kosmische stralingsdetector LUCID die in 2014 de ruimte in ging. Het was de start van een reeks stralingsprojecten op middelbare scholen, eerst in het Verenigd Koninkrijk en tegenwoordig door heel Europa via het CERN@school-project.

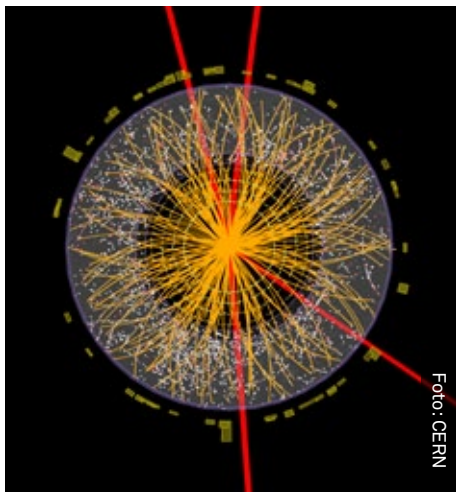
Terug naar CERN

Medipix is waardevol voor de wetenschap en industrie, maar hoe nuttig is de detector nog voor de deeltjesfysica zelf? Nikhef's instrumentatiefysicus Martin van Beuzekom van de Detector-R&D-groep laat zien hoe de sensor zal worden ingezet in een nieuwe detector voor CERN.

'Eigenlijk moet ik 'm niet aanwijzen met een metalen sleutel. Voor je het weet heb je een kras.' Van Beuzekom wijst naar een glimmende strip zo lang als een duim. Het is een proefexemplaar van VeloPix, de gloednieuwe vertexdetector die Nikhef meeontwikkelt voor het LHCb-experiment bij CERN.

Over een paar jaar, na de High-Luminosity upgrade, gaat de LHC-versneller vijf keer meer botsingen produceren dan voorheen. Met al die informatie kunnen onderzoekers op zoek naar zeldzame botsingsprocessen die verklaren waarom er zoveel meer materie dan antimaterie is in het heelal. Van Beuzekom: 'Dat betekent dat we nog beter moeten meten waar elke botsing heeft plaatsgevonden en wat voor deeltjes daar ontstaan.'

De VeloPix-chips moeten die botsingen in kaart brengen op slechts vijf millimeter van de rondrazende protonenbundels in de versneller. Zonder de Medipix-samenwerking was VeloPix er nooit gekomen, denkt Van Beuzekom. En zo keert Medipix na twintig jaar in doorontwikkelde vorm terug naar het hart van de deeltjesfysica. ◀



ATLAS-groep Nikhef ONTVANGT MILJOENENBEURS

Wetenschapsfinancier NWO heeft in februari een beurs van 2,9 miljoen euro toegekend voor nader onderzoek naar de eigenschappen van het higgsdeeltje. De zogeheten ENW-GROOT-beurs gaat naar een Nederlands collectief van onderzoekers die verbonden zijn aan het ATLAS-experiment op CERN in Genève. Na de ontdekking van het higgsdeeltje resteren nog veel vragen. Bijvoorbeeld: waarom lijken er drie bijna identieke families van basisdeeltjes te bestaan, waarvan de massa's enorm verschillen? Het collectief, geleid door Nikhef-onderzoeker Wouter Verkerke, krijgt het geld om vijf jaar lang verder in te zoomen op het higgsdeeltje en zijn interacties. Daarin moet de sleutel naar een betere deeltjestheorie te vinden zijn, denken de onderzoekers.



Stan Bentvelsen herbenoemd ALS DIRECTEUR NIKHEF

Nikhef-directeur Stan Bentvelsen is per december 2019 herbenoemd voor een periode van nog eens vijf jaar. Bentvelsen (54) kreeg de steun van het NWO-stichtingsbestuur, de Nikhef-ondernemingsraad en de universitaire partners van het Nikhef-samenwerkingsverband. Deeltjesfysicus Bentvelsen is vanaf 2005 hoogleraar aan de UvA en sinds 2014 directeur van Nikhef. Tijdens zijn directeurschap ontving het instituut bij de SEP-evaluatie in 2017 een voortreffelijke beoordeling. Nikhef werd betiteld als wereldleider in deeltjes- en astrodeeltjesfysica met een uitstekende reputatie in experimentele fysica.

Foto: Mats van Soolingen



LHC-versneller BLIJFT LANGER IN BEDRIJF

De LHC-deeltjesversneller op CERN, die nog tot mei 2021 stilligt vanwege onderhoud, draait na het onderhoud een jaar langer dan aangekondigd. Dat heeft het deeltjeslab in Genève besloten. Het onderhoud duurt wel twee maanden langer. Dit mede op verzoek van experimenten die meer tijd willen voor aanpassingen en verbeteringen. De vernieuwde LHC gaat draaien van mei 2021 tot 2025. Na 2025 wordt de LHC-versneller omgebouwd om vanaf 2028 veel intensievere deeltjesbundels te leveren.

Vroegere PiMu-hal WEER IN GEBRUIK

Na tien jaar keert Nikhef terug in de vroegere PiMu-hal van het instituut op het Science Park in Amsterdam. De hal is het laatste restant van een voormalige versneller en werd destijds gebruikt voor speciale experimenten met zogeheten pionen en muonen voor kernonderzoek. Na de sloop van de versneller en de versnellergebouwen werd de overgebleven hal door andere wetenschappelijke instituten gebruikt. Nu worden er voorbereidingen getroffen voor een grote nieuwe productielijn voor het KM3NeT-experiment, de neutrinedetector op de bodem van de Middellandse Zee. Dat experiment bouwt glazen fotodetectorbollen die aan honderden lange kabels in zee zullen worden afgezonken. Nikhef is in Europa momenteel de belangrijkste leverancier van de KM3NeT-detector, die als een reusachtige onderwatertelescoop gaat uitkijken naar bronnen van neutrino's in het heelal.

AMS-detector IN DE RUIMTE GEREPAREERD

Astronauten van ESA en NASA hebben eind vorig jaar en begin 2020 met vier spectacu-



laire ruimtewandelingen de AMS-2 antimateriedetector aan boord van het ISS-ruimtestation gerepareerd. De detector op een van de armen van het ruimtestation is al sinds 2011 kosmische deeltjes aan het waarnemen. De detector meet al jaren meer antiwaterstofdeeltjes dan theoretici verwachten. De laatste jaren kampte het systeem echter met koelproblemen, veroorzaakt door haperende pompen in het CO₂-koelsysteem, dat onder meer door Nikhef en Koninklijk Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum werd ontwikkeld. In het najaar werd een nieuwe pompunit naar het ISS gevlogen. De astronauten Luca Parmitano en Andrew Morgan monteerden en testten de pompunit tijdens een serie ruimtewandelingen.



Suzan Başeğmez wil donkere materie ontdekken

Donkere materie: het heelal moet ervan wemelen, maar we zien het niet. Als iemand het gaat vinden, dan is het Suzan Başeğmez du Pree. Zij is aan drie verschillende experimenten verbonden.

'In Nederland had je toch het televisieprogramma Ter land, ter zee en in de lucht? Nou, daar kun je mijn zoektocht naar donkere materie wel een beetje mee vergelijken. Op het land zoek ik naar donkere materie met detectoren bij CERN. In de zee speur ik ernaar met behulp van KM3NeT. En in de lucht ben ik betrokken bij de AMS-detector op het International Space Station.'

'De meeste onderzoekers zijn verbonden aan één soort detector. Ik aan drie. Ik zeg daarom weleens gekscherend dat als er iemand is die donkere materie gaat vinden, ik het ben.'

'Ik sta met donkere materie op en ik ga ermee naar bed. Oké, als ik 's ochtends mijn dochter naar de crèche breng, ben ik er wat minder mee bezig. Daarna barst het los met vergaderingen, overleggen, en discussies met collega's. Ook 's avonds blijf ik nadenken over betere manieren om donkere materie te ontdekken.'

'Had ik al gezegd dat ik blij ben met de mogelijkheden die ik in Nederland krijg? Neem de conferentie Physics@Veldhoven. Daar kon ik begin dit jaar sessievoorzitter zijn. Dankzij de kinderopvang ter plekke kon mijn man ook naar dat congres. Super.'

'Of er een kans is dat ik juist niet donkere materie ga ontdekken? Nou, alle drie de experimenten waaraan ik verbonden ben, gaan uit van donkere materie als deeltjes. Als het geen deeltjes zijn, dan heb ik dus driemaal pech.'

INHOUD

2 **Renovatie**

Nikhef-gebouw
in een nieuw jasje

3 **Stan Bentvelsen**

Directeur opent
deuren voor talent

4 **ETpathfinder**

Gezocht: het beste
gereedschap voor
zwaartekrachtsgolven

10 **Pamela Ferrari**

Toponderzoeker over
haar passie voor
het higgsdeeltje

12 **ALICE-detector**

Nog dichterbij de oerknal

14 **KM3NeT**

Bollen afzinken
in de Middellandse Zee

16 **Ambities**

Hoe jonge onderzoekers
de deeltjesfysica zien

20 **Medipix**

Deeltjessensor veroverd
de wereld

23 **De droom van**

Suzan Başeğmez
over donkere materie

