

Voorjaar  
2024

Nikhef

Nationaal  
instituut voor  
subatomaire fysica

# DIM ENS IES



**GRONINGEN**

Nikhef-partner verkent  
de grenzen van  
de natuurkunde

**FAST TIMING**

Snelle technieken  
ontrafelen de  
deeltjeswirwar





# Een gebouw dat verbindt

Op 29 februari opende NWO-bestuursvoorzitter Marcel Levi onder grote belangstelling het gerenoveerde Nikhef-gebouw in Amsterdam. Het gebouw, zei hij, is een verbindend element in het werk van Nikhef als nationaal instituut.

Honderden belangstellenden zagen hoe Marcel Levi samen met Nikhef-directeur Stan Bentvelsen op het podium een kleine meetopstelling bouwde. Toen de detector hoorbaar muonen uit de kosmos registreerde, was de opening een feit. Die werd nog extra gemarkeerd door een speciale korte Nikhef-film op de videowall.

Onder de toeschouwers waren oud-directeuren van Nikhef, relaties uit de wetenschappelijke wereld, een Nobelprijswinnaar, de betrokken bouwpartijen en tal van Nikhef-medewerkers. Levi vertelde zijn gehoor dat het Nikhef-model in beleidskringen wordt gezien als een schoolvoorbeeld van nationale en internationale samenwerking in de wetenschap.

Het gebouw op Amsterdam Science Park kreeg bij de ingrijpende, bijna drie jaar durende verbouwing een geheel nieuwe gedaante. De entree werd verplaatst naar de kant van de UvA-campus, kantoren en gebruiksruimten werden heringericht, technische installaties vernieuwd. In de vroegere binnentuin verrees een nieuw atrium, de Vertex. Hoog en licht en met een imposante houten zittrap.

Bij de opening benadrukten diverse sprekers de verbindende rol van Nikhef als wetenschappelijk instituut en nationaal samenwerkingsverband van NWO en zes universiteiten. Science-decaan Aletta Kraneveld van de Vrije Universiteit, een van de Nikhef-partners, vertelde bijvoorbeeld over haar recente bezoek aan CERN en over het kennelijke gemak waarmee deeltjesfysici met verschillende achtergronden samenwerken. 'Prachtig om te zien.'



## Open geesten

Eens in de zeven jaar wordt het Nikhef-samenwerkingsverband kritisch doorgelicht. Eind vorig jaar bezocht een internationale evaluatiecommissie enkele dagen Nikhef en sprak hier met talloze groepen en medewerkers, formeel en informeel. Dit voorjaar ontvingen we het verslag van deze SEP-commissie en het resultaat mag er zonder meer zijn.

Nikhef, staat er, is een voorbeeldig instituut met internationale impact en gedurfde wetenschappelijke ondernemingszin. Er staat ook, dat de geest van Nikhef er een is van openheid en discussie, waarin ideeën ontstaan en projecten rap worden aangepakt.

In dit nummer van het Nikhef-magazine DIMENSIES zien we weer veel voorbeelden van die ondernemingszin van Nikhef. In Groningen, een van onze universitaire partners, wordt nadrukkelijk gewerkt aan de grenzen van het vakgebied, via precisieingen meten aan bijvoorbeeld elektronen, maar ook via studies van deeltjesbotsingen op CERN, zwaartekrachtgolven en kosmische achtergrondstraling.

De nieuwe LHCb-programmaleider in Nederland, Mara Senghi Soares, benadrukt in een mooi interview hoe belangrijk samenwerken daarbij is. En twee verhalen, de een over nieuwe supersnelle meettechnieken en de ander over het reusachtige neutrino-experiment DUNE, laten zien hoe ver de ambities van Nederland in de internationale (astro)deeltjesfysica reiken. En dat al heel lang, blijkt ook in het verhaal over 70 jaar CERN.

Dit voorjaar heropenden we met trots het gerenoveerde Nikhef-gebouw in Amsterdam. Het prachtige, lichte, open gebouw is in alle opzichten bedoeld als ontmoetingsplek voor de Nikhef-gemeenschap. Een plek waar open geesten elkaar tegenkomen en waar ideeën voor nieuwe projecten worden gesmeed.

**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 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 zwaartekrachtgolven.

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 2024

### REDACTIE

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

### AAN DIT NUMMER WERKTEN MEE

Joan Berger (foto's), Marco Kraan (foto's), Ivar Pel (foto's), Dorine Schenk (tekst), Henk Veenstra (foto's)

### ONTWERP EN VORMGEVING

Enchilada (ontwerp), &studio (vormgeving)

### OP DE COVER

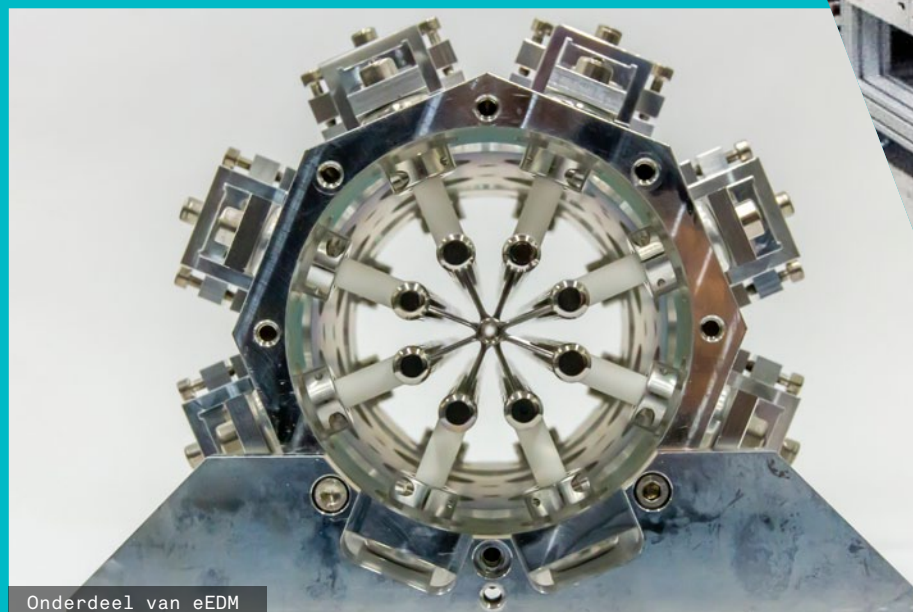
PhD-kandidaat Joost van Hofslot en onderzoeker Steven Hoekstra van Nikhef werken aan de eEDM-opstelling in Groningen.

Foto: Henk Veenstra



# Uitersten in Groningen

Nikhef-partner  
Rijksuniversiteit Groningen  
opereert graag aan de grenzen  
van de natuurkunde. Van de  
details van het elektron tot  
het prille heelal.



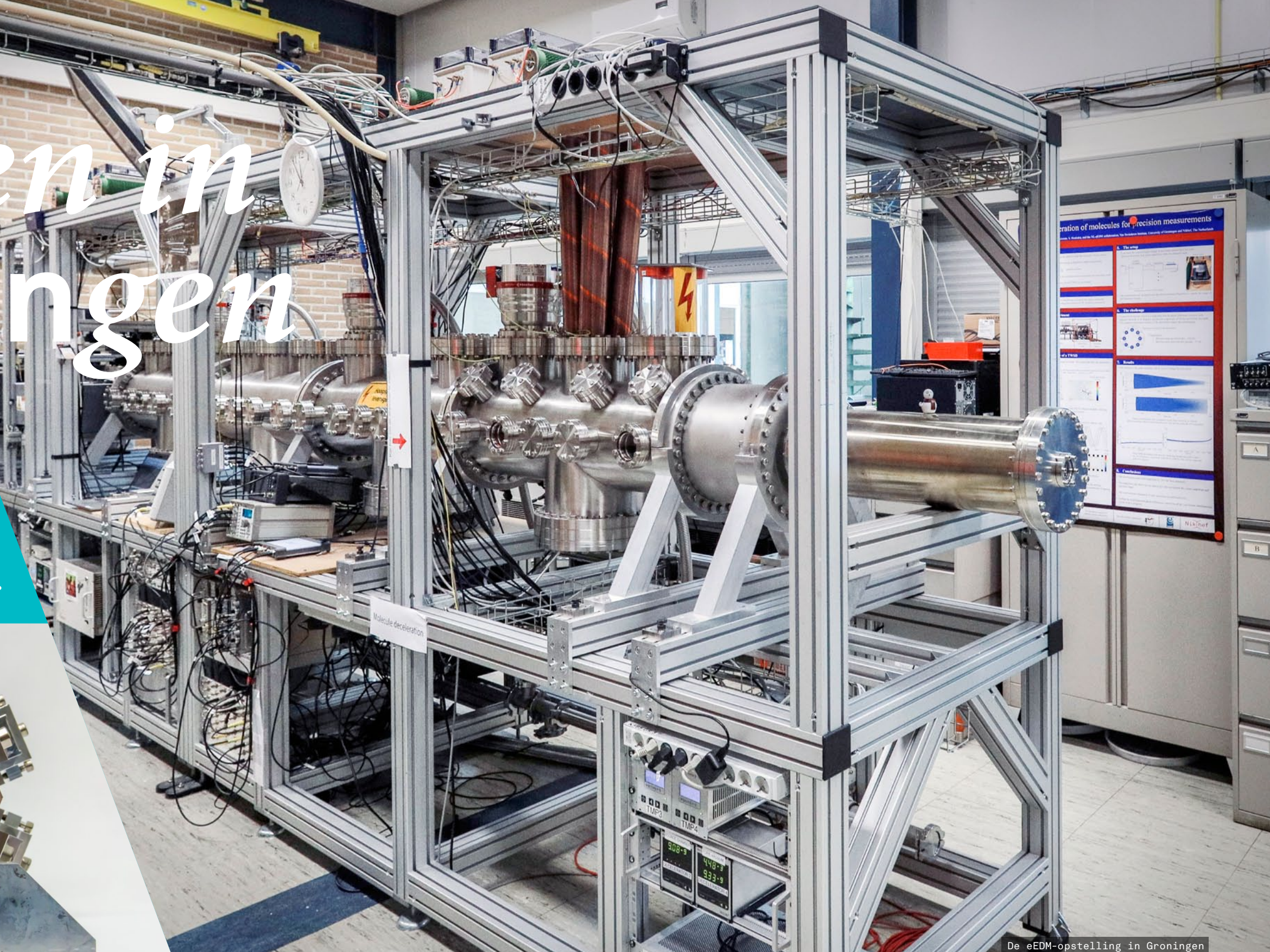
Onderdeel van eEDM



Steven Hoekstra



Daniël Boer



De eEDM-opstelling in Groningen

In één van de labruimtes van het Van Swinderen Institute (VSI) van de Rijksuniversiteit Groningen (RUG) staat de belangrijkste reden dat de universiteit sinds 2016 partner is in Nikhef. In een meterslange opstelling wordt hier binnenkort een bundel van moleculen afgeremd om extreem precies naar het gedrag van de elektronen in de moleculen te kijken.

Mogelijk is het zo vertrouwde elektron ergens ver achter alle komma's toch een gecompliceerder elementair deeltje dan

gedacht. Dat zou een wereld van nieuwe fundamentele fysica kunnen openen, zegt eEDM-programmaleider en directielid Steven Hoekstra. Niet met versnellers, zoals vaak bij Nikhef, maar met een unieke *vertrager*. Al twee generaties promovendi hebben aan het baanbrekende experiment gewerkt.

#### Noordrand

Het eEDM-experiment is één van de officiële wetenschappelijke programma's

van Nikhef, en het wordt helemaal uitgevoerd in Groningen. In dit geval in het deel van het Van Swinderen Institute dat aan de noordrand van het universiteitspark van de stad ligt. Voorbij alle andere universiteitsgebouwen, datacenters, velden met zonnepanelen, crossbanen en landerijen. Hier eindigt zelfs de Zernikelaan.

Inderdaad ongeveer het einde van de bewoonde wereld, zegt wetenschappelijke VSI-directeur Daniël Boer als we de trap naar de kantoorruimtes opgaan. 'Een





## 6 Samenwerking

beetje symbolisch ook wel. We werken hier aan de rand van de stad graag aan uitersten van de natuurkunde.’

Het vierkante kantoorgebouw en de labruimtes in het haast industriële complex erachter zijn overigens maar een deel van het VSI. Verderop op de campus aan de noordkant van de stad heeft een groter deel van de staf, en met name de theoretici, hun kantoren in het hoofdgebouw van de faculteit Science en Engineering.

Zolang het nog duurt, trouwens. Vanaf dit voorjaar verhuist VSI gaandeweg naar een eigen vleugel van het nieuwe Feringa-gebouw op de campus. Op termijn zullen daar ook de VSI-labs naartoe verhuizen. Een operatie waarvan de experimentatoren met hun delicate apparatuur soms nu al wakker liggen.

In totaal werken bij de Groningse partner van Nikhef een kleine twintig wetenschappelijke stafleden, tientallen promovendi en een handvol postdocs aan grensverleggend onderzoek in de fundamentele natuurkunde. Er zijn theoretici en experimentatoren. De meeste in dienst van de universiteit, waar ze ook doceren.

### Drie uitersten

In het Van Swinderen-lab heeft directeur Daniël Boer, zelf hoogleraar theoretische natuurkunde aan de RUG, voor zijn bezoek de slides van een recente bijeenkomst met een visitatiecommissie nog eens klaargezet. Hij somt de hoofdlijnen van het hele onderzoeksprogramma van zijn instituut op.

Drie *frontiers* zijn er binnen VSI, zegt hij. De *cosmic frontier*, waar het gaat om signalen van het allervroegste heelal, nog van voor de signalen die we nu zien en begrijpen. De *high energy frontier*, het domein van de deeltjesfysica, zo ver als versnellers kunnen kijken. En als derde wat ze in Groningen de *precision frontier* noemen, het extreem precies meten van bepaalde natuurkundige eigenschappen, vooral als test voor de deeltjestheorie. Drie terreinen die verbindingen geven met andere Nikhef-programma’s en -partners.

VSI is tien jaar geleden ontstaan uit een fusie van twee onderzoeksgroepen in Groningen. De een is het KVI, het voormalige versnellerinstituut met het

supergeleidende AGOR-cyclotron dat tegenwoordig bij het UMCG Academische ziekenhuis hoort. En de ander het vroegere Centrum voor Theoretische Natuurkunde CTN.

### Paradepaard

Het eEDM-experiment is het paradepaard van de Groningse *precision frontier*. De vier letters staan voor elektrisch dipoolmoment (EDM) van het elektron (e). Theoretici gaan er meestal van uit dat het elektron een echt puntdeeltje is, waardoor het elektrische veld er van alle kanten hetzelfde uitziet. Toch is niet uitgesloten dat die bolsymmetrie in werkelijkheid niet helemaal perfect is. Mogelijk is er sprake van een kleine extra term in het veld, die wel een zekere richting heeft: een zogeheten dipoolmoment.

De eEDM-opstelling bestaat uit twee delen. Er is een meterslange metalen structuur waarin duizenden metalen ringelektrodes moleculen in een bundel geleidelijk afremmen. En een laserdeel, waar de trage moleculen heel precies worden doorgemeten. In het experiment



wordt gekeken naar de eigenschappen van bariumfluoride (BaF).

De onderdelen werken, en beloven op papier voor het geheel een precisie van wereldniveau. De meeste energie gaat nu zitten in het samenbouwen tot een werkend experiment. Complicatie, zegt experimentator Lorenz Willmann die zijn bezoekers rondleidt, is vooral de aanstaande verhuizing van het instituut naar het Feringa-gebouw. ‘Er is een bocht in het nieuwe gebouw waarvan we nu al weten dat de opstelling er niet door kan’, zegt hij. Op een oplossing wordt gestudeerd.

### Expertises

Het team van Hoekstra werkt voor het meetproject nauw samen met theoretici als Rob Timmermans van VSI, maar ook met Jordy de Vries, een Groningse oud-promovendus in de theoretische fysica die nu aan Nikhef en de UvA verbonden is. Daarnaast werken aan eEDM ook moleculair fysici als Anastasia Borschovsky die thuis zijn in de subtiële quantumeigenschappen van moleculen, zowel BaF als andere verbindingen die misschien nog



### Yuly Chamorro Mena

PhD-kandidaat  
eEDM-experiment

‘Ik kom uit Colombia en wilde als student al meer leren van relativistische quantummechanica. Ik zag een advertentie uit Groningen. Ik dacht: Nederland, waarom niet? En Groningen is een knusse, gezellige stad gebleken. De openheid van de mensen maakt dat je je welkom voelt. Het is makkelijk om je hier wetenschappelijk en cultureel verder te ontwikkelen.

In mijn werk leer ik elke dag. Ik werk als theoreticus aan de *precision frontier* van VSI, en ben ook deel van de theoriegroep van Nikhef. Mij fascineert hoe je nieuwe fysica voorbij het

Standaardmodel kunt bekijken met experimenten bij lage energie, door symmetrie te bestuderen. Het signaal dat we zoeken wordt in moleculen versterkt door hun elektronische structuur. Ik doe daar berekeningen aan, en help zo om het eEDM-experiment te plannen en de metingen te interpreteren. Ik help mee om een brug te slaan tussen moleculen en de deeltjesfysica.’



### Diederik Roest

Hoogleraar  
Theoretische natuurkunde

‘Ik ben opgegroeid in Groningen, waar ik studeerde en ook promoveerde, in de snaartheorie. Daarna vloog ik als postdoc een tijdlang uit, onder meer naar Barcelona, maar uiteindelijk landde ik toch weer hier in Groningen voor onderzoek naar de oerknal. In eerste instantie via een Vidi-beurs van NWO, in 2008. Daarna kwam er een *tenure track* positie vrij en sinds 2019 ben ik hoogleraar aan het VSI. In mijn groep proberen we modellen te vinden die de oerknal beschrijven, en hoe je die met waarnemingen kunt testen. Een belangrijk *target* voor observaties is bijvoorbeeld het signaal van

zwaartekrachtsfluctuaties in de kosmische achtergrondstraling, de zogeheten *tensor modes*. Wij doen hier puur theoretisch werk aan, bijvoorbeeld door bepaalde modellen te begrijpen en te motiveren. Daarbij hebben we meer en meer contact met de theoriegroep op Nikhef, via samenwerking met een postdoc in Amsterdam. Binnenkort hopelijk zelfs via een gedeelde postdoc samen met Marieke Postma.

Groningen is voor mij en mijn gezin een perfecte stad. Je komt overal gemakkelijk terecht en eigenlijk kom je altijd wel iemand tegen die je kent. Heerlijk.’



### Kristof De Bruyn

Universitair docent  
LHCb-experiment

‘Ik woon als Vlaming nu in een klein dorpje op het platteland van Groningen, omgeven door koeien en schapen. Een typisch Nederlands boerenlandschap met grutto’s in de velden.

Ik werk sinds 2020 bij het Van Swinderen Institute voor het LHCb-experiment op CERN, na een postdoc in Marseille en een aanstelling als CERN-fellow in Genève. Mijn weg naar Nikhef was gek: ik studeerde als Belg weerkunde in Utrecht, kwam voor een bacheloronderzoek naar Nikhef en ben niet meer weggegaan uit de deeltjesfysica.

Bij LHCb zijn we via bottom-quarks op zoek naar nieuwe

fysica die niet voorspeld wordt door het Standaardmodel. Dat is een enorme uitdaging waarvoor theorie, experimentele data-analyse en de ontwikkeling van nieuwe detectortechnologie alle drie perfect samen moeten komen. Via de LHCb-groep bij Nikhef kan dat. We zitten verdeeld over het hele land, van Groningen tot Maastricht, maar we vormen een heel hecht team. Naast werk aan de VELO draag ik zelf ook mijn steentje bij aan de ontwikkeling van *fast timing* detectortechnologie voor diens opvolger. Tegelijkertijd heb ik nog steeds goede contacten met mijn promotor bij theorie. De uitwisseling van ideeën en resultaten tussen theoreten en experimentatoren is heel belangrijk om samen ons doel te bereiken.’



### Julia Even

Universitair hoofddocent  
Nucleaire chemie

‘Ik begon ooit als Rosalind Franklin Fellow bij het KVI-CART van de Rijksuniversiteit Groningen, en toen dat werd opgeheven kwam ik bij het VSI. Ik ben nucleair chemicus van huis uit, opgeleid in Duitsland. Ik werkte onder meer in Duitsland, Japan en Canada bij experimenten waarin je zware ionen op elkaar schiet en zoekt naar super-zware kernen.

Mijn onderzoek draait om de stabiliteit van zware atomen en welke grenzen daar gelden. Wat is het zwaarste chemische element dat kan blijven bestaan? Hoe zijn de stabiele elementen in ons universum ontstaan? Hoe

gedraagt kernmaterie zich onder extreme omstandigheden? De oude versneller van het KVI in Groningen, hier achter het VSI, komt daarbij nog steeds van pas.

Met andere groepen binnen Nikhef zijn er heel wat raakvlakken. Samen met Utrecht en de UvA werken we aan het fase-diagram van quantumchromodynamica, de wereld van de quarks dus. Met Nijmegen hebben we een project rond zware calcium-isotopen. Bovendien kom ik graag op Nikhef in Amsterdam voor koffie en om bij te praten met collega’s. Groningen is tof, een fijne fietsstad. Alleen is de Randstad zo ver weg.’





wel beter werken. Totaal ander rekenwerk dan deeltjesfysici gewend zijn.

En er zijn op het instituut meer opmerkelijke expertises. In het lab wordt bijvoorbeeld ook geëxperimenteerd met microscopische nanobolletjes, die zwevend in een veld misschien passerende deeltjes donkere materie, een van de grote raadsels in de natuurkunde, kunnen verraden. Wellicht het begin van een heel nieuwe detectietechniek voor donkere materie, zegt Steven Hoekstra, wiens slimme proefjes de cover van *Applied Physics Letters* haalden.

Een van de andere projecten in het VSI-lab, geleid door de Brit Steve Jones, was vorig jaar herfst nog betrokken bij groot medianieuws. Onderzoekers van



**Steve Jones**  
*Universitair docent*  
*Antimaterie*

‘In de academische wereld moet je meestal kiezen tussen waar je wilt zijn en wat je wilt doen. Ik prijs mezelf in Groningen wat dat betreft erg gelukkig omdat hier allebei opgaat. Ik ben hier sinds 2022, ik solliciteerde in Groningen na mijn opleiding in Swansea, Engeland en een CERN-fellowship van vijf jaar, en werd aangenomen. Het VSI sluit enorm mooi aan bij de onderzoekslijn die ik wilde opzetten. En Groningen is een stad vol vriendelijke mensen, zeker voor Engelsen zoals ik, en heel veel parken en groen. Ik zie hier op weg naar het lab elke dag fazanten en herten.

Mijn hoofdthema is anti-waterstof. Het heelal bestaat uit materie,

dus waar is alle antimaterie gebleven die bij de oerknal vermoedelijk wel ontstond? We kunnen in het lab antimaterie maken en kunnen de eigenschappen dus zo precies mogelijk bestuderen. Is de interne structuur van een antiwaterstofatoom anders dan die van een waterstofatoom? Mijn specialisme is om materie en antimaterie tegelijk in dezelfde val te bestuderen, zodat directe vergelijking mogelijk wordt. In Groningen werken we aan een val waarin dat kan, voor het ALPHA-experiment op CERN.

Dit werk staat heel dicht bij het zo belangrijke eEDM-experiment in Groningen, een echt Nikhef-programma. De samenwerking is een heel natuurlijke, we gebruiken vergelijkbare experimentele technieken, van lasers tot koude atomen.’

**Maria Domenica Galati**  
*PhD-kandidaat*  
*LHCb-experiment*

‘Officieel ben ik verbonden aan Nikhef, maar ik beschouw de universiteit als mijn academische thuis. Ik kom uit het zuiden van Italië, studeerde in Pisa en deed mijn masters deels bij Fermilab in Chicago bij het Muon g-2 experiment. Het internationale karakter van de deeltjesfysica vind ik fascinerend en dat was in 2021 een reden om naar Nederland te komen. Ik werk als promovenda in de experimentele deeltjesfysica bij LHCb op CERN, waar mijn collega’s me voor het gemak MD noemen. Mijn focus ligt op een zeldzaam verval van B-mesonen, een specifieke overgang die hier-

voor nog niet werd gemeten. Die overgang is echter belangrijk omdat hij gevoelig is voor eventuele deeltjes die niet in het Standaardmodel voorkomen. Daarnaast werk ik ook mee aan de LHCb-hardware, met name aan de VELO, de VERTeX LOCator. Ik bekijk hoe goed hij werkt, vanuit Groningen en nu en dan ook op CERN.

Groningen is moeiteloos mijn tweede thuis geworden. Een heerlijke plek. Het is hier levendig en sympathiek, niet te groot en niet te klein. Een perfecte balans, zowel professioneel als persoonlijk. De stad heeft iets rustigs. Heel prettig tegenover alle drukte van onderzoek en het academische bestaan.’



CERN in Genève hadden in een experiment met vallende atomen laten zien dat anti-waterstof hetzelfde valt als waterstof. Zwaartekracht werkt hetzelfde op materie als op antimaterie.

Jones werkte voor hij naar Groningen kwam vanuit een Engelse universiteit bij het ALPHA-g-experiment op CERN, en gaf in de media her en der commentaar op de uitkomsten. In het lab in Groningen werkt Jones nu met enkele promovendi verder aan nieuwe technieken voor het experiment op CERN.

### Brede agenda

Directeur Daniël Boer is zelf theoretisch hoge-energiefysicus, het domein waarin CERN centraal staat. Hij bestudeert op papier de wereld van quarks en gluonen in bijvoorbeeld het proton. Dat is in Groningen onderdeel van de *high energy frontier*. Daar zijn de grote experimenten op CERN en mogelijk de toekomstige Electron-Ion Collider bij Brookhaven in de VS van belang. Een aantal Groningse stafleden en promovendi is verbonden aan het LHCb-experiment op CERN, dat bij de



**Elisabetta Pallante**  
*Hoogleraar*  
*Veldtheorie en*  
*deeltjesfysica*

‘Ik was een tijdlang wetenschappelijk directeur van VSI en had daardoor vanzelf veel contacten met Nikhef-collega’s elders, zowel in mijn eigen domein van de theorie als bij de experimenten. Via Nikhef bestaat er een levendig netwerk van theoretici van verschillende universiteiten, waaronder Groningen. We doen geregeld projecten samen.

De geschiedenis van het universum zit vol details. Daarvan zijn er misschien maar een paar echt relevant, maar zelfs die kennen we niet allemaal. Momenteel bestudeer ik de Yang-Mills theorie, die veel verschijn-

LHC-versneller onder meer speelt naar verschillen tussen materie en antimaterie. Daarbij wordt dagelijks gewerkt met de twee andere LHCb-secties bij Nikhef in Amsterdam en Maastricht.

Op het VSI hebben theoretici een opmerkelijk brede agenda. Zo is theoreticus Elisabetta Pallante een expert op het gebied van berekeningen aan het magnetische dipoolmoment van muonen. Ergens ver achter de komma lijkt er een verschil te bestaan tussen metingen (gedaan in het Amerikaanse Fermilab) en de theoretische verwachtingen. Of dat aan de theorie ligt of aan het muon, is nog bepaald geen uitgemaakte zaak.

Een andere theoreticus is Ema Dimastrogiovanni die aan de *cosmic frontier* werkt aan zwaartekrachtsgolven, met name in het piepjonge heelal. Ander werk dan de focus op de signalen van botsende zwarte gaten die detectoren als LIGO en Virgo oppikken, waar de zwaartekrachtsgolfgroepen in Utrecht, Amsterdam en Maastricht mee bezig zijn. Maar raakvlakken zijn er zeker. Bijvoorbeeld de Einstein Telescope waarover wordt nage-

dacht, zou zulke oerrimpelingen in de ruimtetijd ook echt kunnen gaan meten.

### Netwerken

Wie niet groot is, moet slim netwerken. Groningen doet geen eigen experimenten op het gebied van de kosmologie, maar zoekt wel op allerlei manieren aansluiting bij grote observatoria en experimenten in de wereld. Bijvoorbeeld via de groep van oerknal-theoreticus Diederik Roest, die overigens ook als onderwijsdirecteur vanuit VSI betrokken is bij de Groningse natuurkundeopleidingen.

Of neem kosmoloog Daan Meerburg, die eerder als postdoc werkte op een aantal sleutelprojecten in de VS, Chili, Zuid-Afrika en Antarctica op het gebied van kosmische achtergrondstraling. Vanachter zijn bureau in Groningen leidt hij een van die onderzoeksprojecten. Daarin draait het om structuren in de kosmische achtergrondstraling en wat die vertellen over de vroege evolutie van het heelal zelf. Uiteindelijk, zegt hij, gaat dat over de raakvlakken tussen quantumtheorie en zwaartekracht. Onbekend terrein. ‘Dichter bij de grens van wat we weten kom je niet.’



**Daan Meerburg**  
*Universitair docent*  
*Kosmologie*

‘Dat wij via de kosmische achtergrondstraling tot bijna de oerknal kunnen terugkijken, fascineert me nog steeds elke dag. Ik leid vanuit Groningen, op afstand dus, een team onderzoekers betrokken bij het Simons Observatory in de Atacama woestijn in Chili. Een groot instrument om naar de kosmische achtergrondstraling aan de hemel te kijken en vooral de variaties daarin te meten en analyseren. Over een jaar of vijf weten we of we bijzondere dingen vinden, die iets meer zeggen over de natuurkunde van de oerknal en of onze kosmologische modellen wel kloppen.

Ik werk al bij het Simons Observatory sinds mijn tijd als postdoc in de VS, waar ik vooral theoretisch naar de oerknal keek. Ik kwam daarna met een Vidi-beurs naar Groningen, en kreeg later ook een vaste aanstelling. Op het raakvlak van observatie en theorie.

Mijn onderzoek is formeel overigens geen Nikhef, maar we komen elkaar zeker tegen. Ik kan me zelfs voorstellen dat er projecten aankomen die ook voor Nikhef interessant zijn. Zoals de toekomstige Japanse Litebird-kunstmaan die polarisatie in de achtergrondstraling gaat meten. Er ligt al een verzoek of Nederland meedoet. Mij lijkt dat een goed idee.’



# Vrij zicht op wat Nikhef is en doet



'De Vertex' heet het nieuwe centrale atrium van Nikhef. Een naam die is ontleend aan het jargon van de deeltjesfysica: de vertex is de plaats van de wisselwerking tussen deeltjes die elkaar ontmoeten. Vroeger was hier de wat sombere binnentuin van het omliggende instituut. Nu ontmoeten Nikhef-collega's en hun bezoekers elkaar bij de nieuwe koffiebar, op de

grote zittrap, of in de centrale colloquiumzaal.

Links en rechts is door de ramen het werk in laboratoria en werkplaatsen te bekijken. Langs de hele lengte strekt zich hier ook de nieuwe Expostrip uit, een permanente expositie over wat Nikhef is en doet.

In vijf thema's gaat het op de Expostrip

over het instituut zelf, de deeltjes- en astrodeeltjesfysica en de methodes en open vragen van het vakgebied, de experimenten bij de versneller op CERN, signalen uit de kosmos, en de technische afdelingen en spin-offs van Nikhef.

De expositie is opgebouwd met onderdelen en componenten van echte experimenten, schaalmodellen en testopstel-

lingen. Een nevelkamer en een chip-detector maken deeltjes uit de omgeving live zichtbaar. Teksten, video's en een speciale website geven meer uitleg.

De Expostrip is ontwikkeld en geproduceerd door Nikef, Rozemond Tentoonstellingen en Letter Z Design en is bestemd voor gasten, van scholieren en studenten tot beleidsmakers, bezoekers



Zomer 2022 tijdens de verbouwing

uit de industrie en collega-wetenschappers. En medewerkers die er hun bezoekers zelf langs leiden.

De Expostrip is op afspraak of tijdens de jaarlijkse open dagen te bezichtigen.





# De tegen-deeltjesjager

Deeltjesfysicus Mara Senghi Soares is de nieuwe LHCb-programmaleider bij Nikhef. Goede natuurkunde doe je samen, vindt ze.

Tekst: Dorine Schenk / Foto: Ivar Pel

Het ultieme doel van het LHCb-experiment bij CERN is het vinden van het antwoord op de vraag: waarom bestaat het heelal uit materie en is er geen antimaterie, terwijl we in experimenten evenveel materie als antimaterie produceren? Het vinden van dit antwoord is ook de droom van Mara Senghi Soares, die sinds 1 november Universitair Hoofddocent is aan de Vrije Universiteit Amsterdam én programma-leider voor het LHCb-experiment bij Nikhef.

Met de LHCb-detector kijken onderzoekers naar botsingen tussen protonen, waarbij zowel deeltjes als hun tegengesteld geladen antideeltjes ontstaan. 'We zoeken in die botsingsresultaten naar zaken die afwijken van het Standaardmodel van de deeltjesfysica', vertelt Senghi Soares enthousiast in haar Nikhef-kantoor. 'Die afwijkingen hopen we vervolgens te kunnen verklaren met nieuwe fysica die ons ook kan vertellen waarom er meer materie is dan antimaterie.'

Senghi Soares komt uit Brazilië, waar ze natuurkunde studeerde. Ze is de eerste in haar familie die gepromoveerd is. Haar interesse voor natuurkunde ontstond door een tijdschriftartikel waarin de natuurkunde achter pretparkattracties werd uitgelegd.

## Hoe kwam je vervolgens in de deeltjesfysica terecht?

'Dat was eigenlijk toeval. Omdat ik tijdens mijn bachelor het hoogste cijfer had voor wiskunde vroeg een docent of ik mee wilde werken aan een project over kosmische straling. Toen hij begon te vertellen over deze deeltjes, die vanuit de kosmos op ons af komen en een cascade van deeltjesbotsingen kunnen veroorzaken in de atmosfeer, was ik meteen enthousiast. Dat enthousiasme is altijd gebleven.'

## Hoe zag de deeltjesfysica er in die tijd uit in Brazilië?

'Het was een opkomend vakgebied. Er was nog weinig experimenteel deeltjes-onderzoek. Daarom stuurden ze ons als masterstudenten en promovendi voor stages naar het buitenland. Zodoende heb ik twee keer onderzoek gedaan in New York, bij de Rockefeller University en Columbia University. Mijn laatste stage, bij Columbia, leverde een publicatie op. Mijn begeleider was daar zo enthousiast over dat hij me aanraade om te solliciteren op een postdoc-positie in Hamburg bij DESY. Zo kwam ik in de experimentele deeltjesfysica terecht en uiteindelijk bij CERN. Daar werkte ik eerst vanuit Madrid bij het CMS-experiment.'

teren op een postdoc-positie in Hamburg bij DESY. Zo kwam ik in de experimentele deeltjesfysica terecht en uiteindelijk bij CERN. Daar werkte ik eerst vanuit Madrid bij het CMS-experiment.'

## Sinds 2020 ben je verbonden aan de VU en Nikhef. Wat maakt het LHCb-onderzoek interessant?

'Bij LHCb wordt er met name gekeken naar processen met bottom-quarks. Een paar jaar geleden begonnen bepaalde bottom-quarkwaarnemingen af te wijken van de theoretische voorspellingen. Die afwijkingen kunnen schijn zijn, veroorzaakt door achtergrondruis, of ze kunnen ontstaan door nieuwe natuurkunde, zoals de aanwezigheid van nog onbekende deeltjes. Dat vond ik erg interessant. Misschien zou daarin het antwoord schuilen op de grote vraag waarom er bijna geen antimaterie te vinden is in het heelal. Daarom ging ik van CMS naar LHCb. En daar heb ik geen spijt van.'

## Zijn jullie er inmiddels achter wat de oorzaak is van de afwijkingen?

'De afwijkingen bleken veroorzaakt te worden door achtergrondprocessen. Het was dus helaas geen nieuwe natuurkunde. Maar dat achterhalen vond ik ook al erg interessant. Bovendien zijn er andere afwijkende metingen waarvoor nog geen verklaring is. Daarom blijven deze bottom-quarkprocessen superinteressant.'

## Hoe kun je nieuwe deeltjes ontdekken door naar bekende deeltjes te kijken?

'Dat is te danken aan de wetten van de quantumfysica. Die vertelt je dat een lichtgewicht deeltje heel even een veel zwaarder deeltje kan produceren. Alsof een mier een olifant baart. De deeltjes die in de bottom-quarkprocessen ontstaan kunnen dus veel zwaarder zijn dan een bottom-quark. Er kunnen zelfs deeltjes ontstaan die we in het Standaardmodel nog niet kennen. De afwijkingen die we zien zouden daarop kunnen wijzen. Door die processen heel precies te onderzoeken hopen we te ontdekken of er inderdaad een nieuw deeltje, of nieuwe natuurkunde, bestaat.'

## Wat betekent het om nu programmaleider voor het LHCb-experiment bij Nikhef te zijn?

'Het betekent dat ik veel meer aan het organiseren ben en minder zelf, met mijn eigen handen, bezig ben met natuurkunde. Tot vorig jaar analyseerde ik zelf data, samen met studenten. Ik houd van dat werk. Maar nu heb ik daar geen tijd meer voor, omdat ik vergaderingen organiseer, bemiddel tussen de Nikhef-groep en CERN en zorg draag voor het welzijn van de mensen in de groep. Dat betekent niet dat ik minder bezig ben met de natuurkunde, ik ben er alleen op een andere manier mee bezig. Nikhef-onderzoekers maken slechts 10-12 procent uit van de LHCb-collaboratie, maar we hebben veel verantwoordelijkheid, voor de bouw van de detector en voor het analyseren van de data.'

## Je bent pas de tweede vrouwelijke programmaleider bij Nikhef. Hoe is de man-vrouw-verhouding bij Nikhef?

'Bij Nikhef is er de laatste jaren veel vooruitgang geboekt. Nikhef is van 12 procent vrouwen in 2017 naar 27 procent in 2022 gegaan. Maar er is nog veel te doen. Dit gaat bijvoorbeeld alleen nog maar over vrouwen en niet over andere minderheden in de wetenschap.'

## Wat hoop je als programmaleider te bereiken?

'We hebben op Nikhef experts op het gebied van deeltjesfysica en deeltjes-detectors. Met de vakinhoudelijke kennis zit het dus goed. Mijn streven is om de onderzoeksgroep gemotiveerd en enthousiast te houden en een netwerk te bouwen van mensen die elkaar helpen, zodat we samen goede natuurkunde kunnen blijven doen. Wetenschap moet vanuit je hart komen. Het moet echt iets zijn dat je doet omdat het prachtig is en omdat je gelooft dat het belangrijk is voor de mensheid om deze grote vragen te beantwoorden.'

## En als wetenschapper?

'Ik ben een wetenschapsenthousiast. Fundamentele wetenschap is fascinerend. Als je iets beter begrijpt, dan opent zich een nieuwe wereld. Ik hoop dat ik dat enthousiasme met mensen kan blijven delen en dat ons onderzoek nieuwe en interessante dingen blijft opleveren.'



# Graven naar neutrino-geheimen



ProtoDUNE op CERN

**Neutrino's zijn omgeven met raadsels. Nikhef-onderzoekers willen erbij zijn nu het DUNE-experiment in de VS ze preciezer gaat bestuderen.**

Dit vroege voorjaar meldde Fermilab in Amerika dat het graafwerk voor de nieuwe DUNE-neutrinodetector in de oude Homestake-goudmijn bij het stadje Lead in South Dakota erop zat. Op anderhalve kilometer onder de grond zijn drie reusachtige hallen uitgegraven. Daarin komt de komende jaren de *far detector* van DUNE: metalen kamers elk zo groot als een appartementengebouw van zeven verdiepingen, vol met vloeibaar argon, elektrodes en lichtsensoren.

Dat alles is bedoeld om neutrino's waar te nemen die 1300 kilometer verderop door een versneller op Fermilab bij Chicago in een intense bundel zijn afgevuurd.

DUNE is een domein van spannende natuurkunde, zegt Nikhef-stafonderzoeker Paul de Jong, nauw betrokken bij de KM3NeT-neutrinotelescoop in de Middellandse Zee. Hij stuurt met een aantal collega's al jaren aan op een intensievere betrokkenheid van Nikhef bij DUNE en krijgt daarvoor ook ruimte. 'Omdat het een experiment is dat op allerlei manieren meer gaat laten zien van de neutrinosector, die we nog best slecht begrijpen.' Hij weet bijvoorbeeld dat Nikhef veel te bieden heeft op het gebied van het meten van deeltjessporen in vloeibaar argon. En de elektronica om dat op te slaan.

Neutrino's zijn elementaire deeltjes, waarvan drie soorten bekend zijn (natuurkundigen noemen het smaken of *flavours*). Maar zij hebben nauwelijks interacties met andere deeltjes. Daardoor zijn metingen aan neutrino's buitengewoon moeilijk. Zelfs in grote detectoren is er hooguit nu en dan één te zien.

DUNE, vertelt De Jong, gaat vooral met een uitgekende neutrinobundel het verschil maken met andere experimenten. De bundel uit Fermilab is veel intenser dan elders en krijgt een heel specifiek energiespectrum. De *far detector* meer dan duizend kilometer verderop gaat daarvan nog steeds maar een paar deeltjes per dag oppikken, maar wel met een heel hoge resolutie. 'We zien ieder geladen spoor van een interactie en zullen alle individuele deeltjes kunnen identificeren.'

Precies wat je wilt als je belangrijke natuurkundige vragen hebt, zegt Marjolein van Nuland-Troost, een van de promovendi die aan DUNE werken. Ze was vorig najaar ruim een maand op Fermilab bij het prototype van de *near detector* vlakbij het begin van de neutrinobundel. De meettechniek van de gesegmenteerde *near detector*, bedoeld om de bundel te karakteriseren, is in Berkeley en deels door de universiteit in Bern, Zwitserland, ontwikkeld.

Van Nuland-Troost ontwikkelt in Amsterdam vooral simulatiesoftware voor de interpretatie van de metingen. Daarnaast werkt ze mee aan een kleine testopstelling van donkere-materieonderzoeker Tina Pollmann op Nikhef om absorptie van ultraviolet licht in het vloeibaar argon in DUNE te karakteriseren. Het apparaat, Vulcan genaamd, wordt ook gebruikt om reflecties te begrijpen in de XENON-detector voor donkere materie.

Neutrino's zijn cool, zegt Van Nuland-Troost, die in de wetenschap terugkeerde na een periode in de financiële wereld. 'Ze zijn raadselachtig, maar we weten tenminste wel zeker dat ze bestaan. Je hebt ook experimenten waarbij je niet weet of je ooit iets zult zien.'

Neutrino's bestaan, en hebben een heel kleine massa, dat is bekend. Maar in welke volgorde de massa's vallen is nog niet te zeggen, laat staan dat de massa's echt gemeten zijn. DUNE gaat ook kijken naar neutrino-oscillaties: spontane wisselingen van neutrinosmaak terwijl ze rondvliegen. Daarnaast, vertelt Van Nuland-Troost, is er de wezenlijke vraag of antineutrino's zich wellicht anders gedragen dan neutrino's, zogeheten CP-symmetrieschending die voor theoretici heel interessant zou kunnen zijn.

Nikhef is ook betrokken bij het andere uiteinde van DUNE. Promovendus Vikas Gupta werkt aan technieken voor de *far detector* die moet karakteriseren wat er na 1300 kilometer van de beginbundel binnenkomt. De tests gebeuren op CERN in Genève bij een prototype. Binnenkort wordt deze ProtoDUNE, nog steeds een forse tank met glimmende metalen wanden, met vloeibaar argon gevuld en kan het testen weer verder.

## ‘Het is onveiliger dan je zou denken’

**Nikhef-onderzoeker Flavia de Almeida Dias is gekozen als contactpersoon voor diversiteit en inclusie voor het ATLAS-experiment.**

'Ik heb een vaste baan, dus is het veilig voor mij om zoiets op me te nemen', zegt Nikhef-onderzoeker Flavia de Almeida Dias over haar nieuwe rol binnen het ATLAS-experiment. De collaboratie van het grootste experiment op CERN benoemde haar per 1 maart als officieel contactpersoon voor *Diversity and Inclusion Matters*.

'Met een tijdelijke aanstelling ben je te kwetsbaar om dit soort gevoelige zaken goed aan te pakken. Dan ben je te makkelijk dat meisje van inclusie en #metoo, terwijl ik in de eerste plaats wetenschapper ben.'

De Almeida Dias, Braziliaanse van geboorte en sinds 2020 verbonden aan de UvA en Nikhef, is een van de vier mensen binnen het experiment die de ATLAS-leiding adviseren op het gebied van diversiteit en inclusie, en van seksuele en andere intimidatie. Recent leidde ze de zogeheten exotics-groep van ATLAS met meer dan 500 wetenschappers en 80 analyses, een vooraanstaande wetenschappelijke rol.

Het onderwerp diversiteit en inclusie is voor haar niet nieuw. In tegendeel, ze put ook zelf uit eigen ervaringen in het verleden met opdringerige of neerbuigende collega's. En herinnert zich de angst en het onvermijdelijke zelfverwijt: heb ik me misschien te onbevangen of onduidelijk gedragen?

En het gebeurt eigenlijk altijd als je het niet verwacht, zegt ze. 'Je denkt onwillekeurig dat wetenschappers nette, hoogopgeleide mensen zijn, die zich wel weten te gedragen. Des te groter is de schok als dat soms helemaal niet zo blijkt te zijn.'

Zelf werd ze als studente, afgezien van de eindeloze blikken en aanrakingen, gestalkt door een collega, letterlijk tot in de bus van het instituut naar huis. En zonder dat ze wist wat ze eraan zou kunnen doen.

De Almeida Dias: 'Die angst en verwarring gun ik helemaal niemand en dat is de reden om me hiervoor in te zetten.' Eerder nam ze al geregeld deel aan de tweemaandelijks rondetafels op CERN over diversiteit en inclusie. Aanleiding

daarvoor waren akelige incidenten op het lab, waar bijvoorbeeld posters van LHBTIQ+ bijeenkomsten stevast werden weggehaald, vernield, of zelfs beklad met bijbelteksten.

'Er werd iemand betrappt, maar het gebeurt nog steeds wel. In de LHBTIQ+ gemeenschap werd dat in die tijd heel bedreigend gevonden', zegt ze. Zelf is De Almeida Dias (she/her) openlijk lid van de LHBTIQ+ gemeenschap en van jongs af aan thuis in de genderdiverse wereld. 'Ik ging in Brazilië altijd het liefst naar gayclubs, daar vallen mannen je als jonge vrouw tenminste niet lastig.'

De contactpersonen voor diversiteit en inclusie hebben binnen ATLAS twee rollen. Ze adviseren het management over beleid voor meer diversiteit en inclusie, vooral ook door met harde gegevens en cijfers te komen. Hoe geef je vrouwen en anderen meer ruimte, zonder het verwijt dat ze worden voorgetrokken? Moet de administratie per se weten of een lid een man of een vrouw is? Is genderneutraal aanspreken een optie?

Het andere onderwerp is de sociale veiligheid voor vrouwen en LHBTIQ+ collega's. Wat moet je als organisatie en als individu met ongewenst gedrag van collega's, leidinggevend of ondergeschikten? 'Ik weet van een groepsleider die gewoon weigert om een transpersoon in de groep het woord te geven, en dat eigenlijk niemand weet wat ze ermee aan moeten. Dat is ronduit bizar. Hij negeert haar. Bedenk maar wat dat doet met iemand die voor de wetenschap gekomen was.'

Daarbij zijn de contactpersonen nadrukkelijk zelf geen partij maar vooral adviseur voor wie zich onveilig voelt. Op dat vlak, zegt ze, is er zelfs al een heel concreet actiepunt. 'Elk lid van de ATLAS-collaboratie moet verplicht een veiligheidskursus doen, om te leren wat je met noodsituaties moet en hoe je een gasmasker opzet. Wij gaan ervoor pleiten om in dezelfde cursus ook het thema sociale veiligheid op te nemen. Over pesten en ander wangedrag. Omdat het net zo belangrijk is voor een gezonde gemeenschap.'





# Tijd voor betere timing

Sensoren kunnen inmiddels heel exact meten waar een deeltje passeerde. Nu nog het precieze tijdstip waarop.

Op de Detector R&D-gang van Nikhef liggen ze onder laseropstellingen voor tests en verbeteringen: silicium sensorchips die toegepast gaan worden in de deeltjesdetectoren. Zulke pixelsensoren, zegt Nikhef-onderzoeker Jory Sonneveld, zijn inmiddels allemaal uitgerust met microscopische silicium pixels, honderd-duizenden op één chip.

Als een geladen deeltje passeert, is daarmee tot op micrometers nauwkeurig vast te stellen waar dat gebeurt. Cruciaal voor wie gebeurtenissen in de deeltjeswereld in detail wil bestuderen.

Maar er is ook een beperking. Heden-

daagse pixelsensoren meten tot op een nauwkeurigheid van 25 nanoseconden. Duizelingwekkend kort en snel genoeg voor de huidige detectoren op bijvoorbeeld CERN. Maar nog lang niet precies genoeg, zegt deeltjesfysicus Hella Snoek van Nikhef.

Snoek werkt aan een project om sensoren nog een factor duizend sneller te maken. Het is het verschil tussen een gewoon fototoestel en een supersnelle camera.

Dat wordt des te urgenter nu de LHC-versneller op CERN binnen een paar jaar een tienmaal intensere bundel gaat

gebruiken: de *High Luminosity* LHC (HL-LHC). Dat geeft veel meer data om te analyseren, zodat ook subtielere effecten kunnen worden bekeken. HL-LHC betekent ook dat in de bestaande detectoren als ATLAS, ALICE of LHCb tienmaal zoveel protonen vrijwel tegelijk gaan botsen, met tienmaal zoveel deeltjes die daarbij vrijwel gelijktijdig vrijkomen.

Met de huidige sensoren gaan de sporen uit al die gebeurtenissen onherroepelijk door elkaar lopen. 'We kunnen dan niet meer uit elkaar halen welk deeltje bij welke botsing hoort', zegt Snoek.

Er is om die reden grote behoefte aan wat de experts *fast timing* noemen: sensoren die extreem precies de plaats én de tijd van een deeltjespassage vaststellen. Een kluwen van sporen wordt dan weer een verzameling afzonderlijke gebeurtenissen, die geanalyseerd kunnen worden. Het streven is tijdnaauwkeurigheid van 20 picoseconden, zegt Snoek, die voor haar FASTER R&D-project eerder een NWO-beurs ontving. Daarin zijn de nodige promovendi al aan de slag, binnenkort aangevuld met enkele postdocs. Zij werken aan de vraag hoe de sensoren eruit moeten zien die zo snel en precies genoeg zijn.

Daarmee, zegt Nikhef-onderzoeker

Antonio Pellegrino van onder meer het LHCb-experiment op CERN, is er natuurlijk nog lang geen werkende detector.

'Uiteindelijk moet *fast timing* deel gaan uitmaken van het hele systeem. Van de sensoren tot de uitleeselektronica en de computing. Alles samen moet de overvloed aan gegevens kunnen ontfangen.' Dat betekent bijvoorbeeld dat de talloze onderdelen van een detector, vaak zo groot als een huis, perfect synchroon moeten lopen.

Pellegrino is bij Nikhef aangewezen om alle interesse en werk aan *fast timing* te gaan bundelen in een samenhangend nieuw programma. Daarvoor zal een zogeheten roadmap-voorstel worden ingediend bij NWO, die bedoeld is om grote nieuwe ontwikkelingen binnen een wetenschapsgebied ruimte te geven.

Daarbij betrokken zijn alle Nikhef-programmaleiders bij CERN-experimenten en de technische afdelingen van elektronica tot computing. Hella Snoek, ook verbonden aan ATLAS, noemt het een cruciale ambitie voor Nikhef. 'Ik wil niet overdrijven, maar zonder *fast timing* gaan we de aansluiting bij CERN op termijn verliezen. Juist nu het zo interessant wordt.'

Silicium sensorchip

Opeenstapeling van deeltjessporen in een detector (simulatie)





# CERN: 70 jaar zoeken en ontdekken

Deeltjeslab CERN in Genève is al sinds 1954 een bron van ontdekkingen, maar ook een magneet voor onderzoekers.



Jos Engelen, oud-directeur van Nikhef en voormalig onderzoeksdirecteur van CERN, bekijkt het lijstje dat Wikipedia heeft gemaakt van de historische prestaties van het lab in Genève. De ontdekking van het higgsdeeltje. De ontdekking van de W- en Z-bosonen. Antiwaterstof. CP-symmetrieschending. Eerste quark-gluonplasma. *Neutral currents*. En het *World Wide Web* natuurlijk ook.

Een mooie succesreeks, vol spannende natuurkunde, die reikt van de jaren vijftig van de vorige eeuw tot de dag van vandaag. 'Maar toch ook wel een beetje eenzijdig. Het CERN-werk draait niet alleen om doorbraken, maar ook om aan-scherpingen en verfijningen van wat we al weten en technisch kunnen. Maar wat je vooral niet aan het lijstje ziet, is hoe het bestaan van CERN de deeltjesfysica zelf reusachtig heeft gestimuleerd.'

'Zeker ook voor Nederland', zegt Engelen. 'Wij hebben ons dankzij CERN als klein land kunnen ontwikkelen tot een land dat ertoe doet in de deeltjesfysica. Kijk naar de huidige research-agenda van

Nikhef, die tegelijk breed en ijzersterk is, van LHC tot astrodeeltjes en zwaartekrachtsgolven.'

CERN, de *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*, werd in 1954 opgericht, onder meer door Nederland, voor de wederopbouw van de Europese wetenschap na de oorlog en als een centrum voor vreedzame samenwerking. Internationale samenwerking staat van meet af aan hoog in het vaandel, en blijft zelfs tijdens de Koude Oorlog bestaan, terwijl oost en west elders lijnrecht tegenover elkaar staan.

## Verdiensten

Jos Engelen was van 2004 tot 2008 onderzoeksdirecteur van CERN en plaatsvervangend directeur-generaal. Als geen ander weet hij wat de wetenschappelijke verdiensten van 70 jaar CERN zijn, en met name ook wat daarbij de Nederlandse invalshoeken waren.

Engelen: 'Ik liep als jonge student in Nijmegen college bij Van de Walle. Hij vertelde over de sterke kernkracht en zei

doodleuk dat daar nog geen theorie voor was. Die opmerking trok mij het vak in. Ik dacht: die theorie, die ga ik maken.'

## Bellenvaten

Engelen raakte in de deeltjesfysica verzeild en arriveerde als student rond 1970 voor het eerst op CERN, waar Nijmegen in die tijd samen met Amsterdam een eigen bellenvatexperiment gestart was. 'Ik herinner me nog het donderende lawaai dat die dingen maakten bij elke opname. Heel indrukwekkend. Het venster van het vat lichtte blauw op en misschien verbeeld ik het me nu, maar je zag dan met het blote oog deeltjessporen in wit licht.'

Bellenvaten waren in die jaren de beste deeltjesdetectoren die er toen waren. De sporen van geladen deeltjes in de superkritische vloeistof werden op foto vastgelegd en nog met de hand en op het oog bekeken.

CERN bouwde het grootste bellenvat ter wereld van 12 kubieke meter, Gargamelle genoemd. En nog later de weer grotere BEBC, onder meer met hulp van





BEBC (links) en Gargamelle (rechts) in de Microcosm tuin op CERN

Nikhef-onderzoekers. Gargamelle en deze BEBC staan ook nu nog als een soort vreemde ruimteschepen op een voetstuk in de deeltjestuin van CERN in Genève.

Een innovatie op versnellergebied waren in de jaren zeventig de Intersecting Storage Rings. Deze ISR (1971) bestond uit twee ringen met tegengestelde bundels protonen die met elkaar in botsing werden gebracht. Dat is veel efficiënter dan bundels op vaste doelen schieten. Echte ontdekkingen, zegt Engelen, kwamen daar niet uit. 'In feite was het een fantastische nieuwe techniek, waarvan onderzoekers zich nog een beetje afvroegen wat ze er eigenlijk mee aan moesten.' De Nederlandse Nobelprijswinnaar Martinus Veltman zei later dat ze er het J/psi-deeltje (een Nobelprijs voor Richter en Ting) mee hadden kunnen vinden voordat de Amerikanen dat in 1974 deden. 'Een gemiste kans dus', denkt ook Engelen.

#### Neutrale stromen

In 1973 leverde bellenvat Gargamelle het eerste bewijs voor zogeheten neutrale stromen, interacties die een centrale rol spelen in de zwakke kernkracht. De zwakke wisselwerking is een kernkracht die radioactief bètaverval van atoomkernen beheerst. Sommige theoretici vermoedden dat daarbij uitwisseling van onbekende deeltjes een rol moest spelen, vergelijkbaar met fotonen in het elektro-

magnetisme. Neutrale stromen, worden die genoemd.

Op de tienduizenden opnames uit Gargamelle waren soms events te zien zonder muon met alleen sporen van hadronen die uit het niets leken op te duiken. In de zomer van 1973 trokken de onderzoekers uit een kleine 170 van zulke gebeurtenissen de conclusie dat hier werkelijk neutrale stromen aan het werk moesten zijn.

Dat resultaat werd de basis voor een verdere speurtocht naar de aard van deze interacties. Daarbij was belangrijk dat voor detectoren sinds eind jaren zestig heel nieuwe technieken waren ontwikkeld, waarin foto's van deeltjessporen in een vloeistof geen rol meer speelden. De dradenkamers van George Charpak (Nobelprijs 1992) betekenden dat snelle detectoren met bijbehorende elektronica en 'triggers' hun intrede deden in de deeltjesfysica.

#### Werkpaard

In 1976, vertelt Engelen, werd CERN definitief een onvermijdelijke wetenschappelijke faciliteit door de komst van de Super Proton Synchrotron, een ondergrondse versneller van zeven kilometer (voor het eerst onder Zwitserland en Frankrijk). Het werkpaard van de deeltjesfysici trok onderzoekers uit heel Europa en de hele wereld aan.

CERN's nieuwe dradendetectors plus deze SPS-versneller maakten nader onderzoek van neutrale stromen mogelijk. Theoretici als Glashow, Salam en Weinberg vermoedden dat daarbij een ongeladen Z-deeltje in het spel was, dat als kracht-drager in dat proces optrad. In 1983 vonden twee CERN-experimenten, genaamd UA1 en UA2, in proton-antiprotonbotsingen voldoende bewijs voor zo'n Z-deeltje, en ook voor een vergelijkbaar maar wel geladen W-deeltje. Anders dan de fotonen in het elektromagnetisme, hebben zulke kracht-dragers een massa. Een deel van de elektronica voor UA1 werd bedacht door een jonge onderzoeker op Nikhef, Bob Hertzberger, later vooral een vooraanstaand pionier in de informatica in Nederland.

#### Simon van der Meer

De UA1- en UA2-experimenten gebruikten botsende protonen en antiprotonen voor hun metingen. Daaraan zat een Nederlands tintje. De in Delft opgeleide ingenieur Simon van der Meer vond op CERN de technieken uit om bundels protonen en antiprotonen te leveren in de SPS-versneller die uitgebreid werd tot botsende-bundelfaciliteit. Hij kreeg in 1984 samen met Carlo Rubbia een Nobelprijs voor de ontdekkingen van de W en Z die zijn idee mogelijk had gemaakt.

Nederland werkte onder Nikhef-directeur Walter Hoogland mee aan de



Jos Engelen als onderzoeksdirecteur van CERN in 2007

ACCMOR-detector op CERN, die bij SPS botsingen op een vast doelwit bestudeerde. De A in ACCMOR stond voor Amsterdam, waar de werkplaatsen het druk kregen met het project, maar uiteindelijk ging het experiment op CERN wat prozaïscher NA32 heten.

Engelen: 'Het was een voor Nikhef cruciale stap om prominent deel te nemen in een elektronisch 'teller-experiment'. Zo werden in Amsterdam voor het eerst grote dradenkamers gebouwd en bijbehorende elektronica ontwikkeld. Daarmee werd de basis gelegd voor het huidige Nikhef.'

#### LEP-versneller

Die praktische inbreng was ook de reden dat Nikhef een vooraanstaande rol op zich kon nemen bij het volgende project van CERN, de Large Electron Positron collider, of LEP-versneller. Daarvoor werd in een ondergrondse tunnel de grootste versneller ter wereld gebouwd: 27 kilometer in omtrek met 5176 magneten en 128 versnellerholtes. In het complex kwamen vier experimenten: ALEPH, OPAL, L3 en DELPHI met elk hun eigen ontwerp. Nederland zat via Nikhef voluit in zowel L3 als DELPHI.

De LEP-versneller kwam in 1989 in bedrijf en werd elf jaar lang gebruikt. Hetzelfde jaar overigens dat software-expert Tim Berners Lee bij CERN het World Wide Web-protocol bedacht, misschien wel het meest invloedrijke wat CERN ooit opleverde. Ooit bedacht om wetenschappers op afstand te laten samenwerken, maar nu niet meer weg te denken uit de samenleving en de economie.

Engelen: 'Cynici zeggen: LEP heeft niet iets totaal nieuws, onverwachts, ontdekt. Dat is strikt genomen waar, we hadden bijvoorbeeld toen al gehoopt op aanwijzingen

voor het Higgs-boson of supersymmetrie. Het grote succes van de versneller en de experimenten is dat zij het Standaard-model in fantastisch detail konden toetsen. Het werk was een cruciale check voor het werk van Veltman en 't Hooft uit de jaren zeventig, en heeft eraan bijgedragen dat ze daarvoor in 1999 de Nobelprijs kregen.'

Als lid van een van CERN's wetenschapscommissies maakte Engelen van dichtbij de aankondiging van een totaal nieuwe vorm van materie mee, het plasma van quarks en gluonen als zware kernen op elkaar botsen.

#### Higgsdeeltje

Maar begin deze eeuw was Engelen vooral nauw betrokken bij de aanloop naar een nog ambitieuzere faciliteit voor de deeltjesfysica: de Large Hadron Collider, de huidige LHC. Een volledig supergeleidende botsingsmachine voor protonen bij een recordenergie, met vier nieuwe grote detectoren, allemaal in plaats van de bestaande LEP-versneller in dezelfde tunnel met een omtrek van 27 kilometer.

LEP stopte in 2000 en werd ontmanteld, de LHC was in 2008 een feit en leverde in 2010 de eerste bruikbare protonenbundels.

De belangrijkste inzet van de LHC was van begin af aan het vinden van het higgs-deeltje, vernoemd naar de begin april overleden theoreticus Peter Higgs. Het deeltje is in de jaren zestig voorspeld in een verklaring waarom elementaire deeltjes überhaupt massa hebben. Nikhef-onderzoekers waren op CERN vanaf de ontwerpfasen bij maar liefst drie van de vier detectorprojecten betrokken: ATLAS, ALICE en LHCb. ATLAS is van die drie een zogenaamde 'multi-purpose' detector, en is min of meer gebouwd om het higgs-deeltje te ontdekken.

Als op 4 juli 2012 ATLAS en CMS samen de ontdekking melden van het higgsdeeltje, zit oud-directeur Engelen in het auditorium van CERN in Genève naast Peter Higgs die weer naast collega François Englert zit. "I think we have it", zegt CERN-directeur Rolf Heuer met veel gevoel voor understatement.

Het was een emotioneel moment voor velen, ook op Nikhef, waar velen als auteur op de ontdekkingspaper terecht komen. Engelen: 'Een triomf. En het bewijs hoe goed het concept van CERN werkt: een fantastische centrale faciliteit waar de wereld samenkomt om het onderste uit de kan te halen en dat dan ook doet. Een plek waar je heen wilt als natuurkundestudent met grote vragen. Net als ik destijds.'





Foto: UvA

### Carrièreprijs SAMAYA NISSANKE

Astrofysicus Samaya Nissanke van de Universiteit van Amsterdam en Nikhef heeft de 2024 Mid-Career Prize ontvangen van de American Astronomical Society. Nissanke krijgt de prijs voor haar werk aan nieuwe technieken om fundamentele fysica te onttrekken aan waargenomen zwaartekrachtsgolven. Ze is betrokken bij de Virgo-detector in Pisa, de Einstein Telescope-samenwerking, het LISA-consortium en astronomische observatoria. De prijs is bestemd voor belangrijke astrofysische bijdragen van een onderzoeker die hooguit vijftien jaar daarvoor is gepromoveerd.

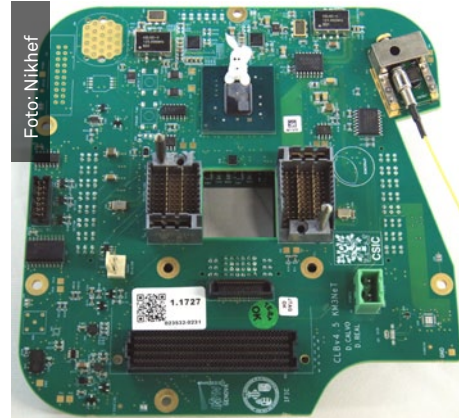


Foto: Nikhef

### Consortium rond EXACTE TIMING

Nikhef is met ingang van 2024 oprichtend lid van de *White Rabbit*-samenwerking van experts op het gebied van timing en synchronisatie. De afdeling Elektronica Technologie van Nikhef is sinds 2009 nauw betrokken bij de ontwikkeling van nauwkeurige timing. Het consortium met onder meer ook CERN is bedoeld om de ontwikkelde kennis te consolideren en toepassingen te stimuleren. *White Rabbit* kan met slimme protocollen de tijd in elektronische systemen op afstand beter dan een nanoseconde gelijkzetten, bijvoorbeeld in deeltjesdetectoren of radiotelescopieën.

### Herstart voor LHC-VERSNELLER

Na de gebruikelijke winterstop leverde de Large Hadron Collider-versneller op CERN begin april weer op volle energie protonbotsingen. Daarmee konden de vier grote detectorexperimenten in Genève verder met hun meetprogramma's. Na reparaties is ook de LHCb-detector voor de studie van antideeltjes weer in bedrijf gekomen. Nikhef speelde een belangrijke rol bij de reparatie van de centrale VELO-detector in LHCb, die eerder schade opliep. De huidige LHC-ronde



Foto: CERN

is de laatste voor een jarenlange verbouwing naar nog veel hogere bundelintensiteit, de HL-LHC.



Foto: Virgo

### Meten hervat met VIRGO-DETECTOR

De Europese zwaartekrachtsgolfdetector Virgo in Pisa, Italië, is sinds begin april weer in bedrijf na een lange periode van aanpassingen en correcties. De detector kijkt tot ongeveer 60 megaparsec in het heelal naar botsende zwarte gaten of neutronensterren, samen met de LIGO-detectoren in de VS en Kagra in Japan. De nieuwe meetperiode gaat volgens planning tot begin 2025 duren. De spreiding van de observatoria over de aarde maakt het mogelijk om de bronnen van zwaartekrachtsgolven beter te lokaliseren. LIGO nam in de eerste helft van deze vierde observatieperiode O4 ruim 80 zwaartekrachtsgolven waar.

### Vice-decaan UvA MARCEL VREESWIJK

De Faculteit der Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica van de Universiteit van Amsterdam heeft deeltjesfysicus Marcel Vreeswijk van UvA en Nikhef per 1 april benoemd tot vice-decaan. Vreeswijk is hoogleraar Experimentele Fysica van top quarks en was eerder al betrokken bij de onderwijsorganisatie van de faculteit, onder meer als programmadirecteur bij het bachelorprogramma Physics and Astronomy. Vreeswijk is onderzoeker binnen het ATLAS-programma van Nikhef.



Foto: Nikhef



Foto: Nikhef

### Supersnel netwerk AMSTERDAM-CERN

In maart zijn de eerste geslaagde tests gedaan met de allersnelste dataverbinding ooit tussen Nikhef in Amsterdam en deeltjeslab CERN in Genève. De 800 Gbit/s datalijn is tweemaal zo snel als de huidige 400 Gbit-standaard, en ongeveer duizendmaal sneller dan gewone internetaansluitingen op glasvezel van consumenten thuis. De verbinding via glasvezelnetwerken is een pilotproject van Nikhef en SURF en de snelste ooit tussen landen in Europa. De servers zijn geleverd door Nokia. Snellere dataverbindingen van en naar CERN zijn nodig om de groeiende volumes meetgegevens voor onderzoekers beschikbaar te maken, nu en in de toekomst.

## Fred Bulten rekent dingen graag even snel na

Foto: Ivar Peil

'Ik heb het op Nikhef nog altijd enorm naar mijn zin en het is een fijne werkgever. Maar sommige dingen zijn er de laatste jaren niet leuker op geworden, vooral omdat de financiële controle heel strikt is geworden. Er zijn heel veel regels. Voorheen ging iemand

op reis en dan kreeg ik het vliegticket. Klaar. Maar nu moet ik elk treinkaartje van en naar Schiphol dus ook echt hebben voor als de accountant langskomt. Dat betekent veel meer dan vroeger dat ik dingen moet afkeuren en als een politiemannet achter mensen aan moet gaan. Dat vind ik verschrikkelijk. Ik houd er niet van om te zeuren.

Ik begon in 1997 bij Nikhef,

recht van de opleiding bedrijfs-economie. Ik werd assistent-inkoop, en regelde alles van de kladblokken tot staal voor de werkplaats. Niet helemaal mijn vak, en dus schoof ik door naar de financiële afdeling toen daar ruimte kwam.

Ik houd wel van cijfers en kloppende boeken, dus dat was helemaal mijn ding. Behoorlijk snel werd ik hoofd financiën. Als hoofd coördineer je het werk, maar ben je er vooral voor de vragen en problemen, overzichten, jaarverslagen et cetera.

Ik ben overigens al die jaren ook graag het gewone financiële handwerk blijven doen, doorgaans in een team met nog drie collega's. Daarom staat er nog steeds een CASIO rekenmachine op mijn bureau, om dingen even snel na te rekenen.

De laatste jaren is het financiële beheer van grote projectsubsidies veel werk en ingewikkeld geworden. Zoveel dat ik een stap terug heb gedaan voor een nieuw hoofd, zodat ik projectcontroller kon zijn. Naast natuurlijk penningmeester van de personeelsvereniging van Nikhef. Ik vind het belangrijk dat er ook op je werk een sociaal leven is.'

Fred Bulten is project controller op de financiële afdeling van Nikhef.





## INHOUD

### 2 Opening

van een verbindend  
gebouw

### 3 Stan Bentvelsen

Open geesten

### 4 Groningen

Werken aan uitersten  
van de natuurkunde

### 10 Nieuw atrium

Ontmoeting en Expostrip

### 12 Mara Senghi Soares

leidt LHCb-programma  
op Nikhef

### 14 DUNE

Een nieuwe  
neutrinodetector

### 15 Diversiteit en inclusie

Flavia de Almeida Dias is  
ATLAS-contactpersoon

### 16 Fast timing

Sneller kijken naar  
deeltjessporen

### 18 CERN

70 jaar zoeken  
en ontdekken

### 23 Mooi werk

Fred Bulten van de  
financiële afdeling